



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Joosep Pärn

LAEVAVRAKID JA NENDE MÕJU MAAILMAMERELE
SHIPWRECKS AND THEIR INFLUENCE ON THE WORLD
SEA

Bakalaureusetöö
Vee ja maismaa ökosüsteemide rakendusbioloogia õppekava

Juhendaja: Arvo Tuvikene, *PhD*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Joosep Pärn		Õppekava: Vee ja maismaa ökosüsteemide rakendusbioloogia	
Pealkiri: Laevavrakid ja nende mõju maailmamerele			
Lehekülgi: 48	Jooniseid: 14	Tabeleid: 1	Lisasid: 1
<p>Õppetool: Hüdrobioloogia ja kalanduse õppetool</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Bio- ja keskkonnateadused (1), Keskkonnaohtlike ainete käsitlevad uuringud (1.9); Keskkonnatervis (B700).</p> <p>Juhendaja(d): Arvo Tuvikene</p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2018</p>			
<p>Laevavrakke on uuritud, aga puudub üldine kajastatus temaatikast tervikuna. Vrakidega seotud probleem on aina süvenemas, kuna sõjajärgsed vrakid on lagunemise piiril, paljastades ohtlikke kemikaale ümbritsevale keskkonnale. Vrakide eemaldamisega küll tegeletakse, ent see on väga suur ja kulukas töö, mis sõltub arvukatest faktoritest: ilmastikuolud, distants, varustus jne.</p> <p>Töö eesmärk on luua laialdasem pilt vrakkide mõjust merekeskkonnale ja selle kaudu ka inimestele. Andmed pärinevad teadusartiklitest, vähesel määral on kasutatud ka populaarteaduslikke artikleid ning suusõnali teadmisi.</p> <p>Vrakide mõju on kõige rohkem märgatav liivastel pindadel, kus vrakk loob uue keskkonna uutele liikidele. Tehisriffide loomisel on püütud jäljendada vrakkide keerukat ehitust, pakkumaks mitmekesist elukeskkonda. Enam poleemikat on tekitanud 20ndast sajandist pärit vrakid, kuna need on varustatud lahingumoonaga või naftaga, mida varasematel aegadel pole transporditud. Õlireostust tekitavad vrakid on väga suur risk eluskeskkonnale, tekitades märkimisväärset hävitustööd. Samas tõrv, mis on ka väga toksiline, on näiteks meritähele sobiv toit. Siiaamaani ei ole leitud laeva pealiskasvu vältivateks kateteks piisavalt tõhusat, samas ümbritsevale keskkonnale soodsat lahendust, mis ei tekitaks tulevikus edasisi probleeme.</p> <p>Edasistes uurimustes võiks keskenduda eelkõige Läänemerele, sest see erineb teistest merekeskkondadest märkimisväärselt igal tasandil.</p> <p>Töö annab komplekse ülevaate sellest, kuidas vrakid mõjutavad keskkonda ning millest need mõjud tulevad.</p>			
Märksõnad: elupaik, keemiarelvad, pommid, toksilised ained, tehisriffid			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Joosep Pärn		Curriculum: Applied Biology of Aquatic and Terrestrial Ecosystems	
Title: Shipwrecks and their influence on the world sea			
Pages: 48	Figures: 14	Tables: 1	Appendixes: 1
Chair: Chair of Hydrobiology and Fishery Field of research and (CERC S) code: Biosciences and Environment (1), Research into Substances Hazardous to the Environment (1.9); Environmental Health (B700) Supervisors: Arvo Tuvikene Place and date: Tartu, 2018			
<p>Shipwrecks have been an interest of research for the last half century; however, there is no thorough investigation on this discipline. The wreckage problem is getting worse, since post-war wrecks are at the edge of degradation, they continue to expose dangerous chemicals to the immediate, surrounding environment. While wrecks are being further controlled and managed, it is a consequently large and costly task, which depends on numerous factors, like: weather conditions, distance, equipment, et cetera. The aim of this research is to create a wider understanding of the impact of wrecks on the marine environment and, ultimately, on the human well-being and the greater society. Research articles, popular science articles, also verbal wisdom have been used to a certain extent. The effects of wrecks are immensely noticeable on environments which exhibit sandy substrates; thus, the wrecks often create a new environment for new species. Artificial reef creation has been attempted to emulate the complex construction of wrecks, providing a diverse environment. Much of the controversy has primarily surrounded wrecks from the 20th century, due to their assemblages of munitions and/or oil. The oil spill-causing wrecks have facilitated a very high risk for the biotic environment. These wrecks create invaluable acts of terror, by altering their surrounding environments and substituting its byproducts (like tar) for various organisms, like: starfish, which ingest the tar as part of its diet. In the contemporary maritime industry, there is no sustainable alternative (to the current antifouling paints) which can negate or avoid the plethora of risks which are presently manifested.</p> <p>Future studies should emphasize the Baltic Sea environment, in particular, as it differs significantly from other marine environments in many, various dimensions.</p> <p>This work can be capitalized upon to enhance people's awareness of the greater impact of shipwrecks and its threat to the living environment.</p>			
Keywords: habitat, chemical weapons, bombs, toxic substances, artificial reefs			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
Mõisted	6
Laev	6
Laevavrakk	6
1. LAEVAVRAKKIDE SISU JA MÕJU KESKKONNALE	8
1.1. Õli ja tõrv	8
1.2. Keemiarelvad ja lõhkeained	10
1.3. Rask- ja mittemetallid	14
1.4. Pealiskasvu vältivad värvid	16
2. LAEVAVRAKKIDE LAGUNEMISE TEGURID	20
2.1. Orgaanilise aine lagundajad	20
2.2. Puitmaterjalid ja nende erinevused	23
2.3. Füüsikalise-keemilised tegurid	24
3. LIIGILINE MITMEKESISUS VRAKI ÜMBER JA SEES	28
4. TEHISRIFID, SUKELDUSPAIGAD JA ELUPAIGAD	30
5. VRAKKIDE EEMALDAMINE JA MAKSUMUS	32
6. SEADUSANDLUS	35
KOKKUVÕTE	37
KASUTATUD KIRJANDUS	39
LISAD	45
Lisa 1. Peamised pealiskasvu vältivate ainete biotsiidid	46
LIHTLITSENTS	48

SISSEJUHATUS

Laevavrakke tekib meredesse pidevalt juurde, aga eemaldada jõutakse väheseid. Kui Läänemeres on probleemiks pigem sõjajärgsed vrakid, siis Vahemeres on vrakkide probleem viimastel aastatel seotud üle mere tulevate immigrantidega, sest põgenike üleveol upub kontrollimatu hulk laevu. Sõltumata vrakist, on mõju keskkonnale alati olemas, aga kui suurel määral, siis seda on võimalik teada saada vaid iga vrakki eraldi uurides. (Renzi et al. 2017:21) Käesolev teema muutub iga päevaga aktuaalsemaks, kuna vanad sõjajärgsed vrakid hakkavad aina enam näitama lagunemismärke, muutuvad nad märkimisväärseks ohuks keskkonnale. Bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida:

- 1) kuidas mõjutavad laevavrakid mere, sh Läänemere keskkonda;
- 2) kas nende eemaldamine toob kasu või on mõistlikum lasta neil seista merepõhjas mõjutatuna biootilistest ja abiootilistest teguritest;
- 3) kas vanad laevavrakid, mille konteinerites on naftajääd ja toksilised ained, on nagu tiksuvad pommid;
- 4) kuidas muutub elustik laevavrakkide vahetus läheduses;
- 5) kuidas tekivad laevavrakkides uued elupaigad.

Töö metoodika on referatiivne töö, milles toetun eelnevalt avaldatud materjalidele.

Lisaks eesmärkidele püstitati kolm hüpoteesi:

H0: Laevavrakkidel ei ole erilist mõju veekeskkonnale.

H1: Laevavrakid mõjutavad veekeskkonda.

H2: Laevavarakid on kasulikud, kuna suurendavad meredes bioloogilist mitmekesisust.

Antud bakalaureusetöö autor tänab juhendajat vanemteadur Arvo Tuvikest (*PhD*), kes oli abiks igas küsimuses ning illustratiivse materjali täiendamisel ja Bellis Kullmani (*PhD*), kes andis väga vajalikku informatsiooni seente kohta, lisaks Lea Tuvikest (*PhD*) illustreerivate materjalide eest.

Mõisted

Laev

Eesti Laeva asjaõigusseaduse (LAÕS) § 2 lõige 1 ütleb, et laev on sihtotstarbeliselt kasutatav piisava suurusega ujuvvahend, mis on mõeldud vees või vee peal liikumiseks ja seejuures inimeste või asjade kandmiseks või muuks otstarbeks ning on selleks võimeline. (Riigi teataja 1998)

Erinevates riikides kasutatakse laeva defineerimiseks erinevaid sõnastusi. Näiteks Norras kuuluvad laevade alla õõnsa disainiga ujuvad sõidukid, mille hulka ei kuulu palkidest parved. Sellest tulenevalt võivad tekkida probleemid laevavraki tõlgendamise õiguslikes aspektides.

Laevavrakk

Laevavrakile on raske väga täpset ja konkreetset tähendust anda, sest erinevad inimesed tõlgendavad seda isemoodi. Klassikaline arvamus on, et laevavrakk (joonis 1) on vee põhja vajunud või väga kahjustunud laev, mis on meeskonna poolt hüljatud. 1982. aasta konventsioonis „*The United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)*“, mis sätestab merekasutuse norme, ei ole vraki kohta toodud ühtset määratlust ning sellele toetudes jääb laevavraki mõiste selgusetuks.

UNCLOS'i artikkel 303 ütleb, et allkirjastanud riigid peavad kaitsma arheoloogilise väärtusega objekte, mis on merest leitud ning keelab nende eemaldamist ilma rannikuriigi nõusolekuta.

UNESCO kultuuripärandi kaitse konventsioon (2001) hõlmab kõiki inimtekkelisi, kultuurilisi, ajaloolisi või arheoloogilisi leide, mis on osaliselt või üleni vee all pidevalt või periooditi ja mis on vähemalt 100 aastat vanad. Nende hulka kuuluvad laevad, lennukid või teised sõiduvahendid.

Nairobi konventsioonis (2007) on laevavrakk defineeritud kui: a) uppunud laev; b) ükskõik, mis osa uppunud laevast; c) laev, mis eeldatavasti upub või on pragunenud ja katki ning tal ei ole enam kasutusväärtust. (Rogowska, J. ja Namieśnik, J. 2013: 461)

Eesti Keele Instituut (EKI) on defineerinud, et laevavrakk on kõlbmatuks muutunud laev, mis on vajunud veepõhja või karile uhutud (EKI 2017 s.v. laevavrakk). Vrakiks on õigus kutsuda laeva, mis on õnnetusjuhtumi järel püsivalt kahjustunud või kaotanud taastamatult oma füüsilised omadused (Tiberg 2004: 203).

Maailmas leidub üle 3 miljoni vraki (Annibaldi et al. 2011: 2813), neist umbes 1600 on tanker vrakid ja ligi 7000 mitte-tanker laevavrakid (*non-tank vessel wrecks*), mis on ka andmebaasidesse kantud. Enamik ohtlikest vrakkidest pärineb Teisest Maailmasõjast (Michel 2005: 8). Ainuüksi Rootsi vetes on ligi 2700 vrakki, millest üle 300 võivad olla potentsiaalselt ohtlikud keskkonnale, sisaldades 1000-15000 tonni punkerõli (Landquist 2016: 1).



Joonis 1. Laevavrakk Laulasmaa rannas. Foto: Arvo Tuvikene

Selles töös käsitleme eelkõige laevavrakke, mis on vee all.

1. LAEVAVRAKKIDE SISU JA MÕJU KESKKONNALE

1.1. Õli ja tõrv

Laevavrakid erinevad ehitusmaterjali, sh viimistlusmaterjali ning konteinerite sisu poolest. Laevadel on olnud erinev otstarve ja sellest tuleneb nende erinev hilisem ohtlikkuse tase keskkonnale.

Vrakid on jaotatud erinevatesse alajaotustesse konteinerite sisu alusel. Esmalt on käsitletud vrakke, mis on seotud kõige suurema keskkonnareostuse allika, õliga ja seejärel Teise Maailmasõja aegseid laevavrakke, mis sisaldavad sõjatehnikat, sh keemiarelvi. (Guidetti 2010: 1161)

Laevad võivad kanda väga suures koguses naftat ja laeva purunemisel võib see merre voolata.

Naftast põhjustatud keskkonnakahjude hindamiseks on võimalik kasutada satelliitpilte, kohtvaatlust, õhuseiret, analüüsida veeproove kasutades erinevaid meetodeid (Ivanov 2010: 4853). Maailmas on teadaolevalt üle 8500 vraki, millest lähtub märkimisväärne õlireostuse risk. Nendest enamik on pärit Teisest Maailmasõjast. (Faksness et al. 2015:123) Nafta lekkega kaasneb otsene häving vee-elustikule ja lindudele ning naftal on kaudne mõju läbi toiduahela (Lemiere et al. 2005:12). Enamus naftast jääb püsima vee pinnale, aga raskemad osakesed, näiteks rannast pärit liiv, võivad selle kanda sügavamatesse kihtidesse, tekitades kahju kogu veesamba ulatuses (Guidetti 2000: 1161). Loomade suremus on kõige suurem vahetult pärast õlireostust ja aja möödudes see väheneb (Sanders et al. 1980: 265).

Kõige ohtlikumad saasteained on naftas sisalduvad suure molekulmassiga polütsükliilsed aromaatsed süsivesinikud (PAH), sest nad on püsivad ning neil on mutageenne ja kantserogeenne mõju. Selgrootutel on omadus bioakumuleerida PAH-sid, mis võivad kanduda selgrootute kaudu selgroogsetele, kes söövad merest saadud toitu, sh inimestele.

Õli mõju uuringuteks on hea kasutada karpe, kes filtreerivad vett ja akumulerevad kahjulikke aineid. Näiteks rottidel, keda karpides akumulereunud kahjulike ainete

uurimiseks katseloomadena kasutati, olid kahjustunud maks ja luuüdi. Katsed näitasid, et väiksema koguse PAH-i sisaldava karbi tarbimisel jäi maks ja luuüdi kahjustamata, seega väikese koguse kemikaalide mõju neutraliseerimisega saab organism hakkama. Kahjulikke aineid on hiljem võimalik uurida ka laboratoorsete meetoditega. (Lemiere et al. 2005: 12)

Sajandite vanuste laevade kere peamiseks kaitsevahendiks on kasutatud tõrva. Tõrva saadi peamiselt okaspuupuidu kuumutamisel. (Connan ja Nissenbaum 2002: 709) Tõrv võib pärineda nii looduslikust (merepõhjas leiduv allikas) kui inimtekkelisest õlireostusest. Enam kui pool tõrva reostusest on inimtekkeline. (Warnock et al 2015: 1)

Vedela nafta muundamisel kas ilmastiku, settimise või muude protsesside kaudu tekivad mõne millimeetrise kuni mõne meetrise diameetriga tõrvapallid või -matid (joonis 2). Veekogudes leidub nii pelaagilisi kui ka bentilisi tõrvamatte. Pelaagilised tõrvajäägid võivad näiteks kilpkonnadele jätta mulje, et tegemist on vetikatega. Kilpkonnad võivad seda süües saada mürgituse (pole piisavalt uuritud). (Carr 1987: 352) Tõrva jäägid võivad jääda vette teadmata pikaks ajaks, põhjustades suuri saastusest tingitud probleeme puhkealadele, kalandusele ja elustikule. Tõrv võib olla seotud mõne liigi isendite arvukuse suurenemisega, näiteks mõnele meretähe liigile (*Persephonaster echinulatus*) meeldivad bentilised tõrvamatid, millest nad toituvad. (Pequegnat and Jeffrey 1979: 63) On leitud, et Mehhiko rannavetes kasvavad haigusttekitavad bakterid (*Vibrio vulnificus*) tõrvapallidel 10 korda kiiremini kui rannaliival ja neid on sada korda rohkem kui merevees (Tao et al. 2011: 507). Mõned uurimistulemused on näidanud aga molluskite arvukuse vähenemist, kusjuures ei ole vahet, kas tegemist oli toksilise tõrvaga või mitte (Nagelkerken ja Debrot 1995: 593).



Joonis 2. Randunud tõrv, umbes 40 cm diameeter. Foto: Miles O. Hayes ja Jacqueline Michel

Nii tõrv kui ka õli on oma olemuselt suhteliselt sarnased. Mõlemad satuvad merre inimtegevuse tõttu ja nende laialipaiskumine vette põhjustab hindamatut kahju. Tõrv ja õli võivad tekitada mõnedele isenditele petteefekti, sest meenutavad söödavat toitu.

1.2. Keemiarelvad ja lõhkeained

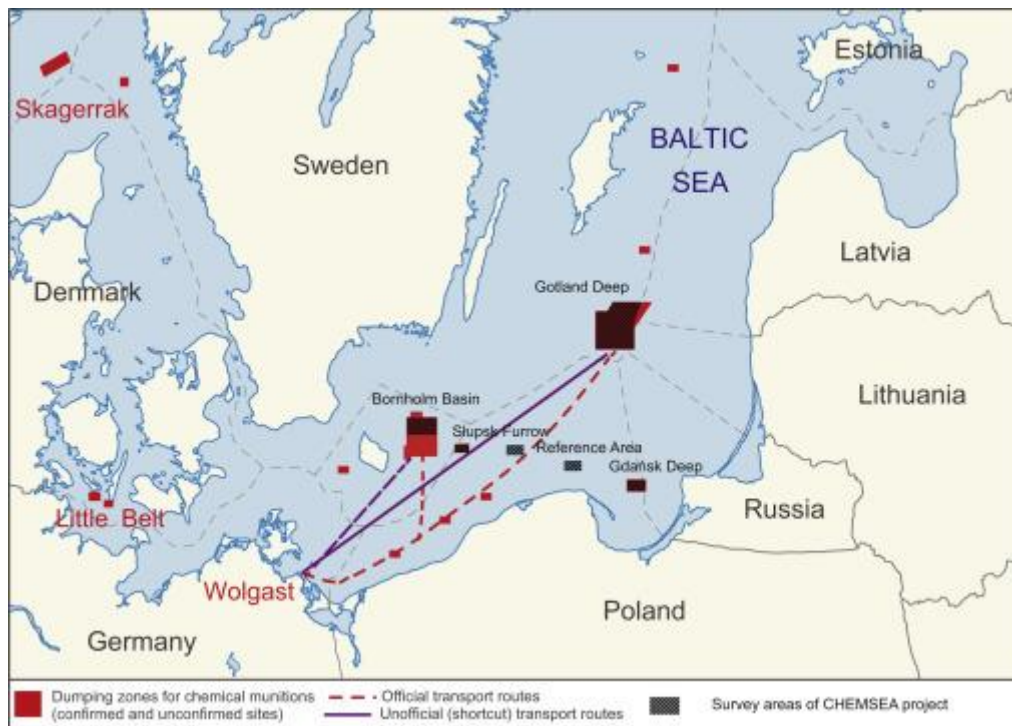
Keemiarelvadest enamik on sattunud merepõhja Teises Maailmasõjas. Keemiarelvade ohtlikkust on hakatud alles nüüd tõsisemalt hindama, sest vanade mahutite lekkeid on hakanud tekkima üha rohkem.

Pärast Teist Maailmasõda maeti Läänemere hinnanguliselt 32 000 tonni erinevaid keemiarelvi, sh 11 000 tonni Bornholmi saare lähiste (joonis 3). Osa keemiarelvi on maetud koos laevadega, sest seda peeti kõige mõistlikumaks viisiks. Sõjarelvad ise lahustuvad vees väga aeglaselt ja selle kiirus sõltub vee soolsusest, temperatuurist, elektrijuhtivusest ja happelisusest ning ka hoovusest. (Emelyanov et al. 2010: 77)

Keemiarelvad sisaldavad arseeni, erinevaid metalle, sh rauda ja tsinki ning raskmetallidest kaadmiumi, koobaltit, kroomi, vaske, mangaani, niklit ja pliid (Emelyanov et al. 2010: 77). Arseeni leidub peamiselt pommide kestades. Arseeni kõrge kontsentratsioon võib olla väga kahjulik inimese tervisele, pärssides raku hingamist, ensüümide tegevust ning lõhkudes kromosoomi ja suurendades riski vähki haigestuda (Matschullat 2000: 297). Arseeni leidub erinevate ühenditena, näiteks difenüülarstiinkloriid ($\text{Ph}_2\text{As}(\text{NH}_2)\text{Cl}$), difenüülarstiindikloriid (PhAs_2Cl_2). Eriti ohtlikuks teevad arseeni erinevad oksüdatsiooni astmed ja keerulised keemilised omadused. Anorgaanilised arseeniühendid on väga toksilised mikroobidele ja fütoplanktonile. (Li et al. 2018: 558)

Ajapikku keemiarelvad lagunevad ning nendes sisalduvad ained, sh arseen, satuvad vette ja põhjustavad suurt kahju vee-elustikule. Arseeni sisaldus vees on kõige kõrgem maetud keemiarelvade lähikonnas ja seda teadmist saab kasutada indikaatorina keemiarelvade lekkimise tuvastamiseks. (Emelyanov et al. 2010: 77)

Keemiarelvade hulka kuulub ka kurikuulus sinepigaas-ipriit (diklorodietüülsulfiid), mis põhjustab kaladel mutatsioone, haigusi ning geenihäireid (Schaber et al. 2012: 39). Kuigi keemiarelvad on maetud võrdlemisi sügavale, kus hapniku tase on alla 2 ml/l ja elutegevus on minimaalne, leidub näiteks tursakala ka alla 1 ml/l hapniku hulgaga vees. Seega on tõenäoline, et keemiarelvadega puutub kokku ka teisi liike, kes kemikaale läbi toiduahele transpordivad. Mõne aasta tagant võib matmispaikade juurde jõuda ka hapnikuga rikastatud vett, mis tekitab sinna korra uue elupaiga ja süvendab toiduahelaga kaasnevaid riske veelgi. (Beldowski et al. 2016: 94)



Joonis 3. Keemiarelvade matmispaigad Läänemeres (Beldowski et al. 2016: 86)

Teisest Maailmasõjast on pärit ka pommide (joonis 4) ja miinidega (joonis 5) varustatud laevavrakid. Pommid ja miinid võivad plahvatada, tuues endaga kaasa hindamatuid kahjusid ümbruskonnale.

1944. aastal uppus (osa laevast jäi veest välja) Ameerika kaubalaev *USS Richard Montgomery*, mille pardal oli 13 700 t lõhkeaineid ja nüüd on tekkinud oht, et terroristid võivad selle plahvatama panna (BBC 2004). See laevavrakk on ainult 2 km kaugusel lähimast sadamast, aga plahvatusega võivad kaasned kuni 5 meetrised lained (BBC 2012). Laevavrakk korrodeerub ja ei ole teada, mis sellega täpselt kaasneb ja millega arvestama peab (Submerged 2009). Vraki ümber toimub ka aeglane erosioon ning laevavrakk võib nihkuda (SS Richard Montgomery Survey and Hull Thickness Report 2013).



Joonis 4. Laeva kahurimürsud Osmussaar rannavees Foto: Lea Tuvikene



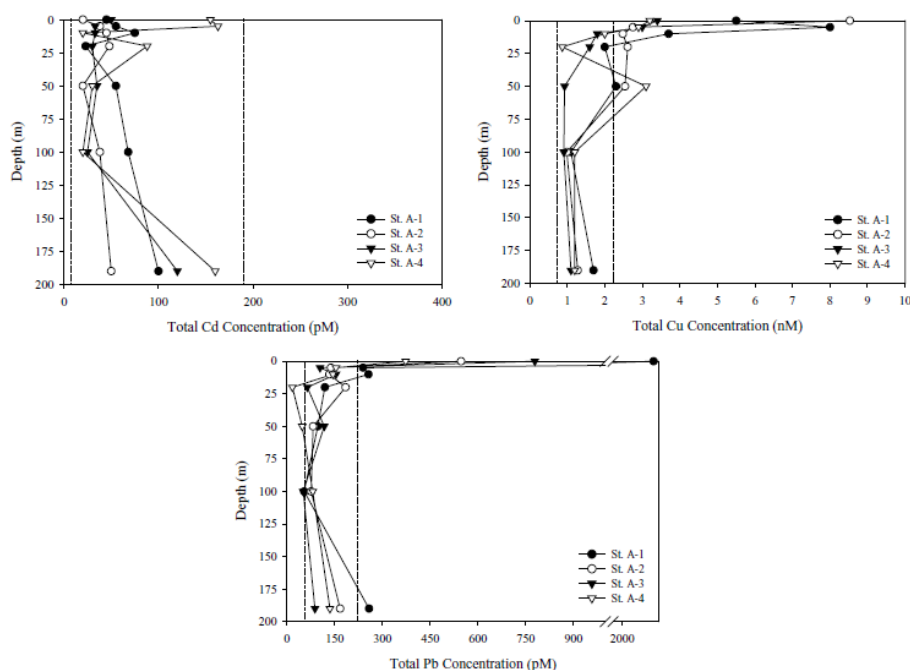
Joonis 5. Meremiin Naissaare rannal Foto: Arvo Tuvikene

Kõik relvad – pommid, keemiarelvad, mürsud ja miinid on kesta sees, mis takistab nende sisu väljavoolamist. Aja möödudes kesta kulub ja oodata on suurt reostuskoormust. Relvad on maetud ühte piirkonda ja seega kannatavad relvade matmispaikade ümbrused kõige rohkem. Sõjatehnika on varustatud mürgiste kemikaalidega, mis kahjustavad kalade ja molluskite arengut, tekitades kantserogeenseid ilminguid.

1.3. Rask- ja mittemetallid

Uppunud laevast võib keskkonda sattuda mitmesuguseid kahjulikke keemilisi elemente.

Järgnev kokkuvõte on tehtud raskmetallide kohta, näitena on kasutatud tankerit *Prestige*, millega seotud keskkonnakatastroof toimus 19. novembril 2002. aastal Atlandi ookeanis Hispaania ranniku lähedal. Vette lekkis 25 900 tonni naftat ning lisaks kaadmiumi, vaske ja pliid. Kaadmiumi hulk oli lähedane tavapärasele sisaldusele, aga plii sisaldus pinnakihis tõusis kuus korda. Sügavamal kaadmiumi sisalduse suurt muutust ei leitud. Vase sisaldus oli tavapärasest suurem 50 meetri sügavusel (joonis 6). (Prego ja Cobeló-Gracia 2004: 25)



Joonis 6. Kaadmiumi, vase ja plii sisaldus (pM) merevees sügavuti, neljas erinevas vraki punktis. Katkendlik joon näitab tavapärast olukorda Kirde-Atlandi ookeanis (Prego ja Cobeló-Gracia, 2004)

Kaadmium võib põhjustada kaladel selgroo deformatsiooni ja osadel liikidel, näiteks vikerforellil munaraku arengu häireid, samuti suurendab kudevatel kaladel suremust. (Water quality criteria 1977: 9)

Kohad, kus rauda on looduslikult vähe, võivad suurt kogust rauda sisaldavad vrakid luua enda ümber uue, tavapärasest teistsuguse elukeskkonna. Mõju ulatus võib olla mitmeid kilomeetreid, sõltuvalt avatusest välistele teguritele ning vrakis sisalduvast raua kogusest. Näiteks võib tekkida makrovetikatest ning tsüanobakteritest koosnev vetikamatt (*turf algae*), mis võib hävitada korallid. Eelkõige on ohustatumad väiksed atollid, kus veevahetus on väike. Juba vähem kui kolme aastaga võib seal olla vraki mõju. (Kelly et al. 2012: 643)

Kõrge toiteainete sisalduse ja vähese klorofülliga veekogudes on raua sisaldus üldjuhul väike, selle lisandumisel tekib esmaproduktiooni kiire kasv (Martin et al. 1994: 128). Korrodeeruvast laevakerest vette sattuvad rauavormid (joonis 7), näiteks raudhüdrosiid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), ei ole vetikatele otseselt omastatavad, kuid nad võivad lahustuda tänu kõrge afiinsusega orgaaniliste ligandite moodustumisele ja seeläbi suurendada raua bioloogilist kättesaadavust. Suure rauasisaldusega vesi muutub vetikate õitsengul hägusaks. (Kelly et al. 2012: 643)



Joonis 7. Roostes randunud laevavrakk Osmussaarel. Foto: Lea Tuvikene

2007. aastal läks tormiga põhja vene tanker, mis oli teel Ukrainasse (Volgoneft-139) ja milles oli 3500 tonni naftat. Selle tormiga läksid Kertši väinas põhja ka neli kaubalaeva, millest kolme pardal oli kokku 6900 tonni puhast väävlit ja neljanda pardal vanametalli jäätmed (Solovyov 2007; Ivanov 2010: 4856), mis pärast laeva purunemist vette uhuti. Väävli vabanemisega ei tekkinud keskkonnareostus küll koheselt, aga see võib juhtuda ning selle ulatust ja mõju ei oska keegi prognoosida (Ivanov 2010: 4866). Puhas väävel on hüdrofoobne, seega väike kogus suurt kahju ei avalda, ent sellel on desinfitseerivad omadused ja see on toksiline erinevatele putukatele, ning ka mikroobidele. Maismaaloomadele tekitab kokkupuude väävlikristalliga naha, hingamisteede ja silmade ärritust ning erinevaid allergilisi reaktsioone. Üleliigne väävel toidus võib põhjustada neuroloogilisi häireid, biokeemilisi muutusi maksa ensüümides, neerukahjustusi ja ka kromosoomimuutusi. (Kuklińska et al. 2013: 16) Veeorganismidest on leitud väävli toksilisust näiteks bakterile *Vibrio fisheri* ja bioanalüüsid näitavad suurimat tundlikkust koorikloomade ja kala vastsete puhul (Cieszynska-Semenowicz 2017: 2). Väga toksilised on lenduvad väävliühendid (vääveldioksiid ja väävelvesiniksulfiid) (Kuklińska et al. 2013: 15).

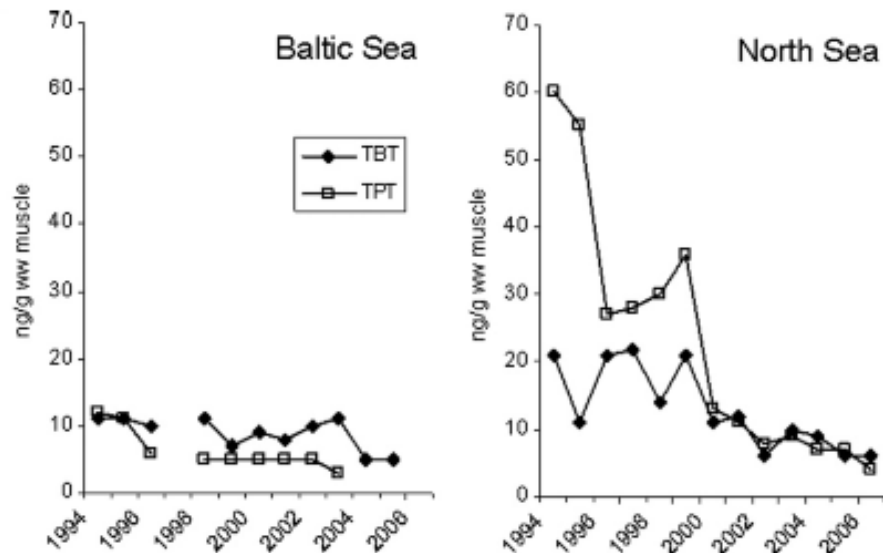
Nii raskmetallid kui mittemetallid on tavapärasest suuremas koguses kahjulikud. Raskmetallidest põhjustab kaadmium ja mitte metallidest väävel sageli kalade arengus anomaaliad. Raud aitab kaasa vetikate õitsegule.

1.4. Pealiskasvu vältivad värvid

Värviga kaitsmata laevakere külge kinnituvad taimed ja teised organismid ning muudavad laeva raskemaks ja halvemini juhitavaks, vähendavad laeva kiirust ning suurendavad kütusekulu kuni 40%. Nende tegurite mõju vähendamiseks kaetakse laevakere saastumisvastaste ainetega (lisa 1), mis aga võivad kahjustada ümbritsevat keskkonda. (Amara et al. 2018: 116)

Orgaanilist tina kasutatakse laevakere katmiseks pealiskasvu vastu (*antifouling paint*) alatest 1970. aastatest. Orgaanilist tina leidub mitme vormina. Tributüültina oksiid (TBTO: $C_{24}H_{54}OSn_2$) ja tributüültina fluoriid (TBTF: $C_{12}H_{27}SnF$) on kõige paremad pealiskasvu tõrjujad. Orgaanilist tina, mida on palju tiheda laevaliiklusega veeteedel, peetakse üheks ohtlikumaks aineks, mis tekitab kahju elusorganismidele. Hoolimata sellest,

et orgaanilise tina kasutamine on paljudes riikides keelatud, leidub veel palju sellega kaetud laevu – mõni nendest on juba vrakk või võib ajapikku selleks saada. (Suzuki et al. 1998: 304) Läänemeres on orgaanilist tina vähem (joonis 8), kuna Läänemere laevadel ja paatidel keelustati kasutamine juba varem (Hedman et al. 2011: 2022).



Joonis 8. Orgaaniline tina Põhjameres ja Läänemeres. TBT – tributüültina, TPT – trifenüültina Läänemere ja Põhjamere emakala lihastes. (Hedman et al. 2011: 2024)

Orgaanilised tinaühendid kahjustavad kalade paljunemist ja mõjutavad nende käitumist ning molluskite k.a austrite produktiivsust (joonis 9) (isastel moodustuvad emaste sugutunnused ja vastupidi), põhjustades vastsete arengus anomaaliaid. Orgaanilised tinaühendid on rasylahustuvad ja läbivad kergesti rakumembraane. (Amara et al. 2018: 118)



Joonis 9. Rääbise kahjustunud gonaadid (segasoolisus). Foto: Aimar Rakko

Praegu kasutatakse laevakere katmiseks üha rohkem vaske sisaldavaid ühendeid, näiteks vaskoksiidi (Cu_2O) ja vasktiotsüanaati (CuSCN) (Amara et al. 2018: 116). Võrreldes orgaanilise tinaga on vask vähem toksiline. Vask on mürgine molluskitele ja vetikatele ning sobib paremini laevadele, mis sõidavad merevees. Vase mõju kestvus (5-12 kuud) sõltub temperatuurist, vee soolasusest, valgusest ja hoovustest. (Amara et al. 2018: 120) Mida soolasem on vesi, seda kiiremini vask eraldub laeva kerelt (Lagerström et al. 2018: 290). Läänemeres on riimvesi ja siin kasutatakse madalama kontsentratsiooniga katteid (8,5%) kui näiteks Rootsi läänerrannikul (35%) (Ytreberg et al. 2016: 595).

Makrovetikad, mida tarbivad ka taimtoidulised kalad, akumulatsioonivad metalle, sh vaske, suurtes kogustes (Zhou et al. 2018: 61). Vask suurendab bakteritest, viirustest, protistidest, mikro- ja makrovetikatest moodustuva rakuvälise polümeerse aine (extracellular polymeric substance) – biokile teket. Vase madala kontsentratsiooni korral võib biokile suurendada produktsiooni kiirust, vähendades omakorda tundlikkust teiste toksiliste ainete suhtes. (Admiraala et al. 1999: 1990)

Tsinki lisatakse värvile selle erosioonikiiruse kontrollimiseks ja see muudab vase 200 korda toksilisemaks (Watermann et al. 2005: 1539).

Tsinkpüriiti (ZnPt) on pikka aega kasutatud vetika- ja bakterimürgina ning fungitsiidina. See on väga toksiline veeorganismidele, aga laguneb kergemini fotokeemiliselt vähemtoksilisteks osadeks. Näiteks on leitud, et isegi väga väikestes kogustes ZnPt on toksiline Jaapani kalale *Oryzias latipes* ning põhjustab teratogeenseid nähtusi (embrüotes seljaaju kahjustusi) sebrakala (*Danio rerio*) vastsetele (Guardiola et al. 2012: 1549). ZnPt absorbeerumine setetes kujutab endast tuleviku jaoks väga suurt keskkonnariski (Konstantinou ja Albanis 2003: 236).

Plii akumulereb enamikes organismides, põhjustades neuroloogilisi ja kardiovaskulaarseid häireid või lubjastumist (kaltsifikatsioon).

Hoolimata negatiivsest mõjust organismidele, on plii hea indikaator pliiühendite keskkonnasaaste leidmiseks. Plii püsib pinnavees vähem kui viis aastat, aga setetes ligikaudu seitse sajandit ning pehmetel setetel edasi liikudes võib plii püsida aastatuhandeid. Plii toksilisus tuleneb selle laengust ja iooni mõõtmetest (*ionic radius*), mis võimaldab jäljendada mõne olulise aine omadusi ning seetõttu märkamatult pääseda läbi bioloogilise barjääri (biological barrier). (Cariou et al. 2017: 19)

Laevavrakide sisu ja pealiskatted teevad suurt kahju merekeskkonnale ja neile, kes söövad veest pärit toitu. Esimesest ja Teisest Maailmasõjast pärit vrakke ja nendega seotud keemiarelvi ja pomme on piisavalt palju ning nad on muutumas suureks mõjuallikaks. Samas aga ka tänapäevased laevad kannavad endaga kaasas piisavalt palju ohtlikke aineid: õli, pealiskasvu vältivaid värve: vaske, orgaanilist tina, kaadmiumi, rauda, mis kõik on kas kantserogeenne, piirab liikide paljunemist või vastupidi, suurendab primaarproduktiooni kasvu ja viib vee õitsengule. Praegu pole veel leitud head lahendust pealiskasvu vältivate värvide jaoks, küll aga on neid vähem ohtlikeks tehtud, samas kahjustab see ikkagi märkimisväärselt elustikku. Sellest võime järeldada, et hüpotees 1 on kummutatud. H1: laevavrakid mõjutavad veekeskkonda.

2. LAEVAVRAKKIDE LAGUNEMISE TEGURID

2.1. Orgaanilise aine lagundajad

Läänemere vee halb kvaliteet, milleks on vähene läbipaistvus, madal hapnikusisaldus ja soolsus, on loonud keskkonna, kus laevavrakkide lagunemine on väga aeglane. Näiteks 17. sajandist pärit Rootsi sõjalaev Vasa leiti alles 1950. aastal (veesti tõsteti välja 1961. aastal), aga tänu aeglasele lagunemisele on laev säilinud ja nüüd saab seda laeva näha muuseumis. (Björdal 2012: 127)

Seened, bakterid ja teised organismid lagundavad puitu maismaal kiiresti, aga puit vees on ebataoline ja sellepärast leidub ka puidu lagundajaid vees vähe ning puidu lagunemine vees toimub aeglaselt.

Orgaanilised lagundajad vajavad tavaliselt hapnikku, mida vees leidub vähesel määral lahustunud olekus. Veekeskkonnas on tähtsaimad lagundajad „madala-profiiliga“ seened (*soft-rot* - pehmemädanik) ja bakterid, sest nad suudavad puitu lagundada vähese hapnikusisaldusega keskkonnas. (Blanchette et al. 1995: 153)

Pruunmädanik (*Brown-rot*) (*Basidiomycetes* – kandseened, lagundavad polüsahhariide depolümeerisatsiooni kaudu) ja valgemädanik seened (kandseente võime eemaldada puidus kõik rakuseina komponendid) (*Trametes versicolor*) suudavad puitu lagundada, aga eelistavad mõõduka niiskusesisaldusega puitu ning nad ei kannata anaeroobset keskkonda. Pruunmädanik seened eelistavad happelisemat (pH 3,5-5,5) keskkonda kui valgemädanik seened, aga nad ei talu nii hästi kõrgemat pH taset kui valgemädanik seened. Pruun- ja valgemädanik seened kasvavad temperatuuri vahemikus 25-30 °C. Osadele valgemädanik seentele, näiteks *Phanerochate chrysosporium*, on parim temperatuurivahemik 39-40 °C, aga leidub ka seeni, kes kasvavad rohkem kui 40 °C juures ja madalamatel temperatuuridel kui 20 °C. (Blanchette et al. 1990: 153)

Parimateks puitu lagundavateks seenteks veekeskkonnas on pehmemädanik seened, kellel lagunemine on põhjustatud kottseentest (*Daldinia*, *Hypoxylon*, *Xylaria*) ja *Fungi imperfecti*'st (Kirk 1971 ref Blanchette 1990: 153), kes taluvad väga muutlikke keskkonnatingimusi (madal temperatuur, madal soolsus, suur pH vahemik, väga madal

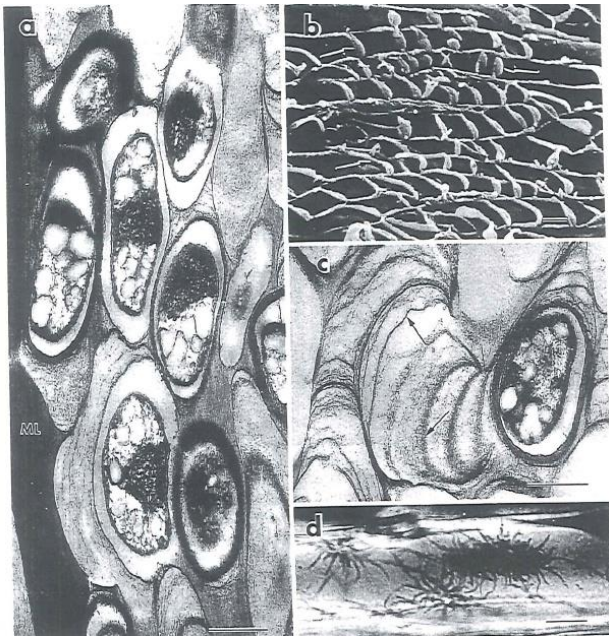
hapnikusisaldus). Nad erinevad pruun- ja valgemädanikest selle poolest, et tekitavad puitu koonilised õõnsused (cavities with conical ends) (Courtois 1963 ref Blanchette 1990: 154) ja tekitavad puidu erosiooni. Mõned seeneliigid põhjustavad puidu rakuseina erosiooni lisaõõnsuste moodustamisega. Erosiooni mõju on märgatud lehtpuudel, okaspuudel ei ole mõju täheldatud. (Blanchette et al. 1990: 153)

Vee all on harilikuks teguriks liiva ja vee abrasiivne toime puidu väliskihile, mis eemaldab pehmenenud osa, paljastades pehmemädanikule ülejäänud puiduosa, mida lagundada (Aaron 1955 ref Blanchette 1990: 153). Seetõttu on triivpuit tihtipeale ümarate äärtega. Pehmemädanik seened võivad elada ka null kraadist madalamatel temperatuuridel ja toitainetevaestes kohtades (toitainete lisandumisel on nende hävitustöö palju tõhusam), taludes pH vahemikku 3-9, optimaalne pH tase on 6-8. (Blanchette et al. 1990: 156)

Eestisse toodi mädanik seened, mis nüüd muuseas ka puid ja puitmaju kahjustavad, laevadega (Bellis Kullman, suulised andmed).

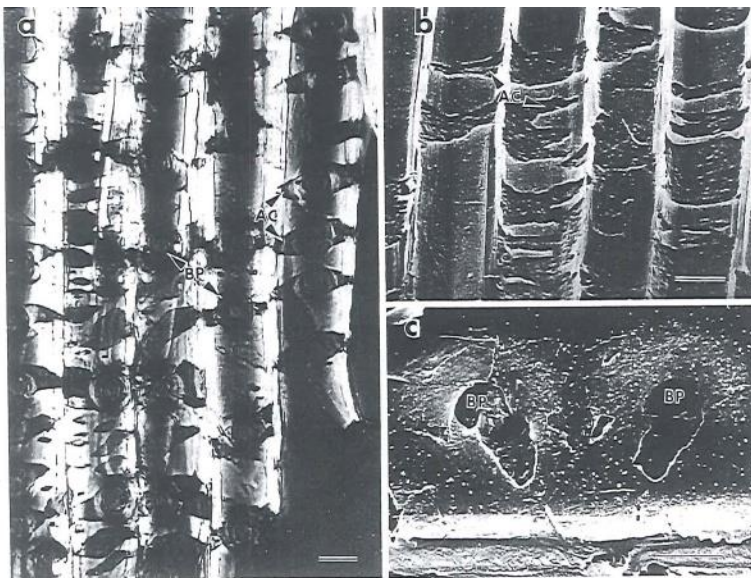
Meres levivad bakterid, kes on taksonoomia ja ainevahetuse seisukohalt suur ja väga mitmekesine organismide rühm. Neid leidub ka mikro-planktoni hulgas ning nende suurim biomass on moodustunud avaookeanides ja jõgede suudmealadel. (Björðal 2012: 130) Kõige rohkem baktereid on sügavamates vee kihtides, kus leidub orgaanilist materjali, näiteks lehti ja puitu (Björðal 2012: 131; Höfle ja Brettar 1995).

Bakterid jaotatakse kahte gruppi: need, kes suudavad ja need, kes ei suuda puidurakke lagundada. Puidu-lagundajad bakterid lagundavad tselluloosi, hemitselluloosi ja ligniini ja nad liigitatakse omakorda kolmeks: tunneli bakterid (tunneling bacteria), erosiooni-bakterid (erosion bacteria) ning õõnestaja-bakterid (cavitation bacteria). Peamised lagundajad on erosiooni-bakterid, kes selleks, et saada kätte rohkem tselluloosi, liiguvad sügavale puiduseina sisse. Tunneli-bakterid ei talu väga suurt hapnikuvaegust ja sellepärast leidub neid rohkem pindmises hapnikurikkamas vees. Tunneli-bakterid söövad end läbi puidu seina (joonis 10), tekitades tunnelilaadseid moodustisi, kusjuures igal bakteril on oma tunnel. Bakterite pooldumise tulemusena tekivadki mustrid. (Björðal 2012: 132)



Joonis 10. Tunneli-bakteri rünnak puidule. (Blanchette, 1990: 164)

Õõnestaja-bakterite õõnestamise protsess (joonis 11) toimub rakuseinte vahel, seal moodustavad nad õõnsuse, mis hiljem bakterite jagunemise tõttu suureneb. (Blanchette et al. 1990: 165)



Joonis 11. Õõnestaja bakteri mustrid. (Blanchette, 1990: 166)

Bakterid ei ole seenetega konkurentsivõimelised siis, kui seentel on olemas neile sobiv substraat ja keskkonnatingimused. Aga kui vee hapnikusisaldus on liiga väike, võtavad bakterid lagundamis protsessi üle. (Blanchette et al. 1990: 168)

Anoksilises keskkonnas sulfaate redutseerivad bakterid tekitavad lihtsaid orgaanilisi molekule oksüdeerides vesiniksulfiidi, mille kasutavad ära erosiooni-bakterid, jättes maha orgaanilise „prügi“. Puitmaterjal võtab metabolismi teel selle „prügi“ endale, kui erosiooni bakter tarbib ära sulfaate redutseeriva bakteri. (Fors ja Sandström 2006: 401)

Läänemere omadused tagavad vrakkide pikaajalise säilimise, ent soolasemates ja hapnikurikkamates veekogudes lagundatakse vrakid kiiresti. Peamine roll on seentel ja bakteritel, kes võtavad lagundamise protsessi üle. Kriitilisemates tingimustes jäävad aga bakterid domineerima. Olulist rolli mängib ka vee abrassiivne mõju, hoovused, liiva hõõrdumine ja temperatuur.

2.2. Puitmaterjalid ja nende erinevused

Põhjamaades on puust laevade ehitamiseks kasutatud peamiselt tamme ja mändi, sest need puuliigid on kõige levinumad. Teiste puuliikide puitu on kasutatud peamiselt laevade interjööri kujundamisel.

Puidu südamikus on suurem ekstraktiivainete kogus kui maltspuidus (sapwood), seega on puidu südamik mikroorganismide suhtes lagundamiskindlam. Suure tselluloosi sisaldusega puit laguneb kiiremini kui madalama tselluloosisisaldusega puit. (Björdal et al. 2012: 135) Näiteks lehtpuudest kask ja pöök lagunevad kiiremini kui kuusk ja mänd (Blanchette et al. 1990: 157), aga tamm laguneb aeglasemalt kui teised lehtpuud. Tamme tanniinidel (parkaine) on toksiline mõju, ja see takistab merevees seente ja bakterite lagundamisprotsessi. (Björg et al. 2012: 135) Tunneli-bakterid aga suudavad puidu vastupidavusele vaatamata lagundada seda tõhusamalt kui seened. Väga madala hapnikusisaldusega kohtades domineerivad erosiooni-bakterid, triivpuidu peal aga tunneli-bakterid. (Blanchette et al. 1990: 163)

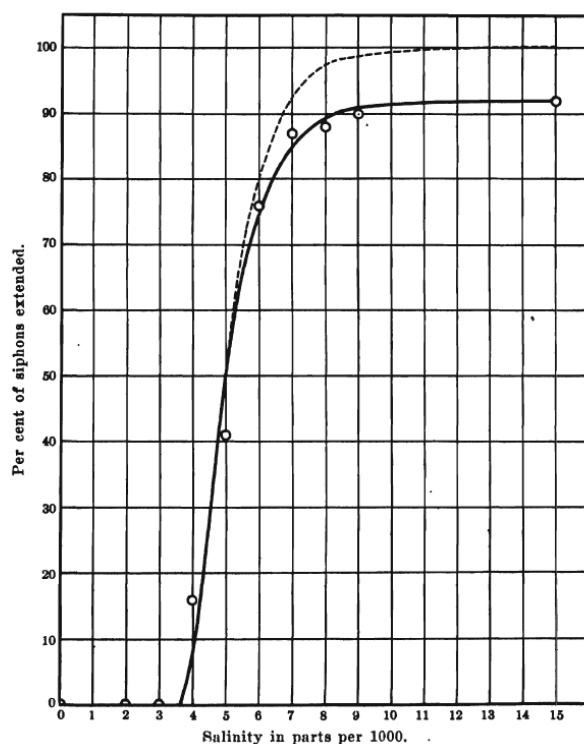
2.3. Füüsikalis-keemilised tegurid

Kõige optimaalsem temperatuur seentele on 20-25 °C, aga seened on võimelised lagundama puitu ka 10-40 °C juures. Leidub ka seeni, kes on võimelised kasvama alla 0 kraadises soolases vees. (Björdal et al. 2012: 134; Schaumann 1974)

Temperatuur mõjutab bakterite ja seente liigilist koosseisu suurel määral. Kui on tavapärasest külmem, siis on ka liigiline mitmekesisus märgatavalt väiksem. (Whitfield 2011: 29)

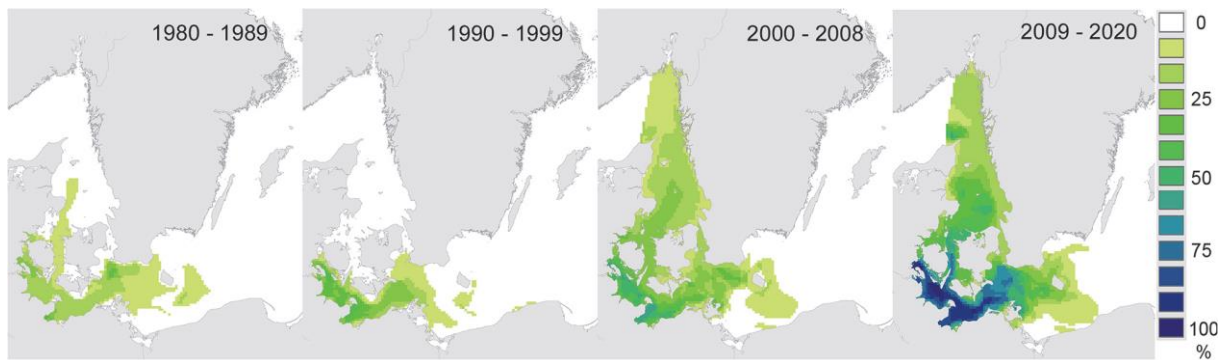
Baktereid ja pehmemädanik seeni leidub väga erineva soolsusega veekeskkonnas. (Björdal et al. 2012: 137; Hughes 1975)

Suurimaks puitkonstruktsioonide hävitajaks on mollusk laevaoherd *Teredo navalis*, kes suudab ka elada väga erineva soolsusega vees (joonis 12). Näiteks Põhjamere Hollandi lõunapoolsel rannikul (Vlissingenis) elavad nad 30‰, Hollandi põhja-poolses osas (Harlingenis) 20-30‰ soolsusega vees, aga Amsterdami lähedal riimvees, mille soolsus on 6‰. *Teredo navalise* jaoks lähevad tingimused elutegevuse jätkamiseks raskeks alla 6‰ soolsusega vees, surmav on vesi alla 4‰ (lethal salinity). (Blum 1922: 350).



Joonis 12. Laevaoherdi (*Teredo navalis*) aktiivsus erineva soolsusega vees. X-teljel osakesi tuhande kohta, Y-teljel laevaoherdi sifoonide laiendamine. (Blum, 1922: 355)

Läänemere väga madala soolsuse tõttu ei ole laevaoherdit siin seni väga palju esinenud, kuid kliimasoojenemise tõttu on hakanud Läänemere temperatuur tõusma ning loonud elamiskõlbliku koha ka laevaoherdile (joonis 13). Laevaoherd levib vastsestaadiumis pelaagilises vees, nooruki ja/või täiskasvanu etapis levib aga triivpuidus ja ka antropogeense transpordi kaudu (laeva ballastveed ja vrakkide transport). Suletud süsteemis võib ta vastu pidada vähemalt 6 nädalat. Laevaoherdi hävitab väga kiiresti iidseid puidust sadamakaisid ja laevavrakke, aga neil võib olla ajalooline väärtus. (Appelqvist et al. 2015: 2)



Joonis 13. *Teredo navalise* paljunemisvõimele on soodsad keskkonnatingimused oktoobri kuus, kuni 9 meetrises pinnakihi. (Appelqvist et al. 2015: 9)

Puulaevade omanikud on laevaoherdi ohust teadlikud ja nad sõidavad nende leviku piiramiseks aeg-ajalt magevette. (A. Tuvikene, suulised andmed)

Bakterid suudavad elada erinevates tingimustes, aga kuna vee pinnakihi vahetus läheduses on hapnikku rohkem, siis seal on ka lagundamise protsess kiirem. Sellepärast on setetes olevad vraki osad alati vähem kõdunenud kui sette kohale jäävad osad. (Blanchette 1995: 169)

Pehmemädanikud on kohastunud lagundama puitu ka madala lämmastiksisalduse korral, aga selle lisandumisel kasvab pehmemädaniku lagundamisprotsessi kiirus märgatavalt. (Savory 1954: 340)

Lämmastiku hulga suurendamine aeglustab bakterite lagundamisvõimet, nii on erosiooni bakterid kohastunud elama ka madala lämmastikuga setetes. (Kretschmar 2008: 71)

Mageveelised pehmemädanik seemed kasvavad peamiselt pH vahemikus 6-8, aga merelised seemed eelistavad pH üle 7,4. (Björdal 2012: 128)

Suur happelisus võib kahjustada ka neid laevavrakke, mida tahetakse säilitada. Näiteks Rootsi laeva Vasa, mis uppus 1628. aastal, vrakis suurenes bakterite metaboolse tegevuse tulemusel väävelhappe kontsentratsioon. Lisaks tõstis kahurikuulide roostetamine raua sisaldust ja selle tulemusena suurenes tselluloosi oksüdatiivne lagunemine, sest tekitavad karboksüülrühmad. (Giorgi et al. 2006: 567)

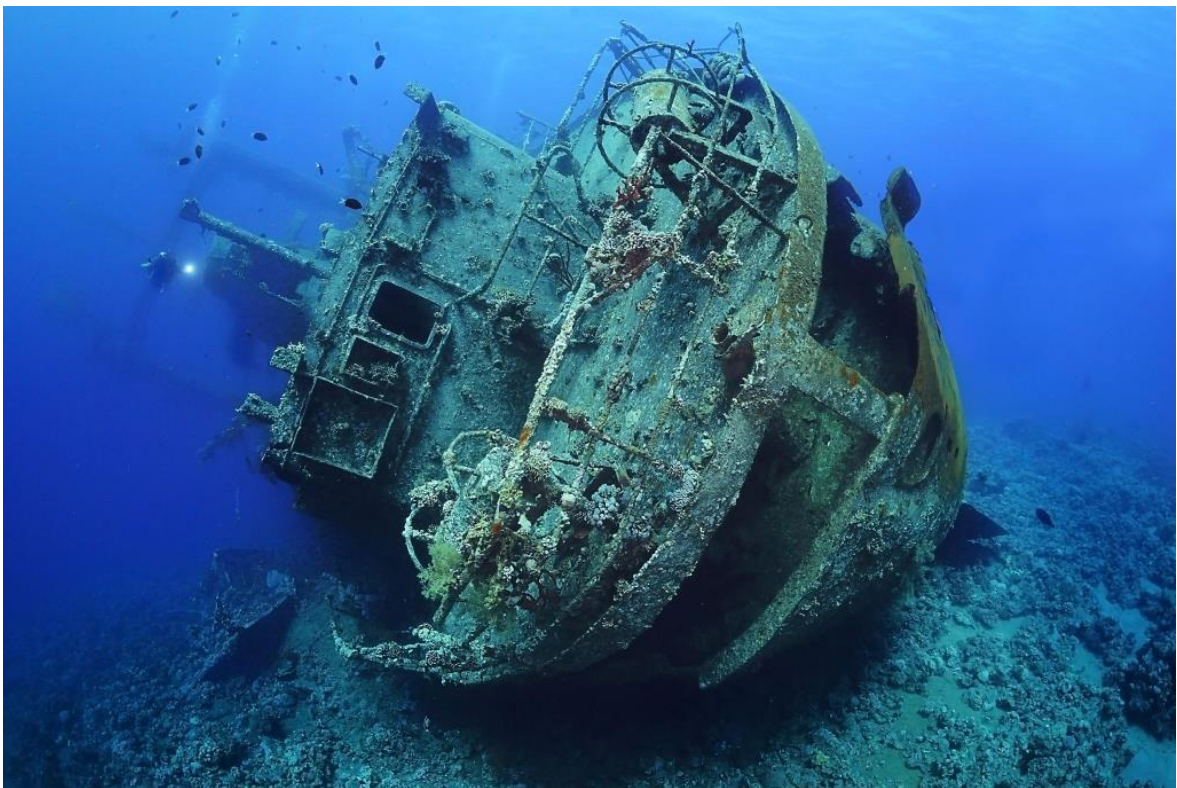
Suurtel sügavustel (~1600m) suudab ainult mõni seeneliik (*Fungi imperfecti* ja kottseened-Ascomycetes) puitu lagundada, aga kui hapnikusisaldus vees on väga madal, siis saavad ainult bakterid seal hakkama (Björðdal et al. 2012: 134; Kohlmeyer 1969). Näiteks väävliit oksüdeerivad bakterid (*Beggiatoa*) lagundavad puitu ka suurtel sügavustel (Palacios et al. 2006: 416).

Kuigi aja jooksul puidu lagunemiskiirus suureneb, suureneb ka teiste tegurite mõju. (Björðdal et al. 2012: 135)

Vraki lagunemise tegurid sõltuvad peamiselt laeva ehitusmaterjalist. Metallist vrakid ei lagune nii kiiresti, kui puidust vrakid. Aga suur roll on ka keskkonnal. Läänemeres on väga halvad tingimused vraki lagunemiseks, sest vee hapnikutase ja soolasus on madal. Sellest hoolimata bakterid ja seened jätkavad elutegevust ning lagundavad koos hoovuste ja teiste kulutuste tulemusena ajapikku enamiku vrakke. Kliimasoojenemisega kaasneb tulevikus uute liikide lisandumine. Ka laevaoherd tuleb iga aastaga üha lähemale Põhja-Läänemerele, kiirendades puitkonstruktsioonide hävitamist. Antud peatükis kehtib hüpotees 1: H1: Laevavrakid mõjutavad veekeskkonda.

3. LIIGILINE MITMEKESISUS VRAKI ÜMBER JA SEES

Laeva vrakk on uus substraat, millele hakkab üsna kiiresti tekkima uus elu, seda uut keskkonda hakkavad asustama ka võõrliigid, tekitades konkurentsi kohalikele liikidele (joonis 14). Liigiline mitmekesisus sõltub vraki asukohast ja selle struktuurist (Kerckhof et al. 2011: 28). Järgnevalt on antud ülevaade, millised liigid on tehislikke elupaiku asustanud.



Joonis 14. Uus elu Cedar Pride vrakil Punases meres. Foto: Alex Levin

Tautog (*Tautoga onitis*) on väga tähtsa kaubandusliku väärtusega kala Loode-Atlandil piirkonnas, mis ulatub Massachusettist kuni Virginiasse. Tautog eelistab elamiseks ja kudemiseks kõva pinnasega ja keeruka struktuuriga paiku. Selleks otstarbeks sobivad väga hästi vrakid ning muud tehislikud pinnased, niisiis on hakanud see kalaliik levima ka liivase põhjaga piirkondades. (Steimle ja Shaheen 1999:1, 5, 15)

Pärast vraki uppumist, algab seal uus elu suhteliselt ruttu.

Näiteks olid esimesteks asukateks uuele kõvale substraadile Põhjameres Kilmore vrakil hüdroiidid perekonnast *Tubularia*. Tänu neile suureneb nüüd ka teiste sessiilsete organismide, sh majanduslikult tähtsate kammkarpide arvukus. Võib juhtuda, et esimesed asukad kaovad varsti ja nende asemele tulevad teised ja püsivamad, aga üldjuhul võivad nad moodustades mikroelupaiku jääda aastaringselt domineerima. (Zintzen et al. 2008: 406, 417).

Vahemeres on Sitsiilia väina vrakkidele (Zattera ja Marin Sanudo) elama asunud kaks looduskaitse all olevat liiki: *Sciaena umbra* Marin Sanudo laeva ja *Epinephelus marginatus* Zattera laeva vrakile. Kuigi vrakid asuvad üksteisele võrdlemisi lähedal, on Marin Sanudo vrakil kaheksa korda suurem isendite arvukus ja poole rohkem kalaliike. Isendite ja liikide hulk sõltub vraki konstruktsioonist ja teatud liigid (*Anthiasanthias* ja *Chromis chromis*) on levinud just vraki ülemises osas (Renzi et al. 2017: 23).

Domineerivaimad liigid vrakkide ümbruses, arvestades asustustihedust, on kirpvähid (amfipoodid) *Jassa herdmani*, *Caprella tuberculata*, *Phtisica marina*, *Stenothoe spp.*, *Monocorophium spp.*, kes paljunevad otsese arenguga (sarnaneb sündides vanematega) ja kellel puudub pelaagiline staadium. Nende liikide domineerimist võib seletada oskus piirata teiste indiviidide levimisvõimet, et nad saaksid kasvada oma vanematele võimalikult lähedal. (Zintzen 2007: 299)

Uute liikide teke vrakile on paratamatu ning see suurendab liigilist mitmekesisust, sest tekib uus substraat ja uued varjupaigad. Alati ei pruugi uute liikide teke olla positiivne, välja võivad surra kohalikud liigid, aga üldjuhul võib liigilise mitmekesisuse heaks mõjuks lugeda. H2: Laevarakid on kasulikud, kuna suurendavad meredes bioloogilist mitmekesisust.

4. TEHISRIFID, SUKELDUSPAIGAD JA ELUPAIGAD

Tehisriff on merepõhja uputatud üksus, mis jäljendab mõnda loodusele iseloomulikku kohta ja mõjutab füüsilist ja bioloogilist protsessi analoogselt „elusa“ merega (Jensen 1998; Seaman, 2000). Tehislike riffide hulka kuuluvad poid, majakad, laevavrakid jt üksused, mis on vette sattunud inimtekkeliselt (Zintzen 2007: 7).

Hiljem võib see muutuda inimese poolt tekitatud põhjastruktuuriks – tehislikuks elupaigaks, mille juures võivad olla ka vee peal olevad ehitised. (Zintzen 2007: 7)

Tehislikud elukeskkonnad võivad olla pärit juba kaugest minevikust. Kestlikumaks toiduga varustamise tagamiseks tehti tehislikke riffe ka puutüvedest, sest teati, et nii on võimalik tagada paremad võimalused toiduvarumiseks. (Seaman & Sprague 1991: 3).

1930-ndatel aastatel otsustas Jaapani valitsus investeerida tehisriffidesse, et tagada kaubanduslik kalapüük. (Stone *et al.* 1991: 34) Tehisriffe on hakatud rajama ka hävinud elupaikade asemele, et tagada kaladele koht, kus elada ja ennast varjata.

Tehislikke riffe on rajatud füüsiliste struktuuride asendamiseks, näiteks korallide kaevandamise tagajärjel (Clark ja Edwards 1999: 6). Riffid, kuhu on kinnitunud karbid või käsnad, aitavad kaasa ka vee puhastamisele. Käsnad ja karbid võivad akumulierida ka raskmetalle (Miller 2002: 28).

Laevavrakid kaitsevad organisme, kes elavad pehmetel setetel ning on kaitseks kalapüügiga kaasnevate kahjustuste ning kiskjate eest (Hall et al. 1993: 203). Vrakid võivad olla kaladele kui saared, kuhu saab elama asuda, aga asustustihedus seal sõltub mandri lähedusest. Mida kaugemal on manner, seda väiksem on tõenäosus, et vrakile tekivad kolooniad. Koloniseerimine sõltub ka muudest ressursidest, nagu elupaikade mitmekesisus ja nende vastupidavus teiste liikide sissetungile. Uute liikide sissetung väheneb, kui tehissaarel kasvavate liikide arv suureneb ja nende väljasuremine kasvab koos liikide arvuga. Mõne aja möödudes saavutab liikide arv „saarel“ tasakaalu ning kolooniate tekkimise arv on võrdne väljasuremisega. (Zintzen 2007: 61)

Kuna laevavrakkide struktuur on mitmekihiline ja keerukas, siis pakuvad need elamistingimusi nii selgroogsetele kui ka selgrootutele. Põhjasattel olev vrakk on soodus elupaik ka kõvemat põhja eelistavatele selgrootutele ja vetikaliikidele. Vrakk loob täiesti uue keskkonna ja seda võivad asustada võõrliigid, kes mitmekesistavad veekogu floorat ja faunat. (Whitfield 2011: 1)

Tänu vrakkide olemasolule on inimesed saanud idee, et teha ise tehiseriffe, mis aitavad taas luua kadunud elupaiku. Vrakid pakuvad varju muudele ohustatud liikidele, kellele antud keskkond sobib. H2: Laevarakid on kasulikud, kuna nende mõjul võib meredes suureneda bioloogiline mitmekesisus.

5. VRAKKIDE EEMALDAMINE JA MAKSUMUS

Selleks, et teada, kuidas ja kas on mõtet vrakki veest eemaldada, on vaja teha aega ja raha nõudvat eeltööd. Järgnevates peatükkides on antud ülevaade, kuidas vrakke eemaldatakse, mis on selle töö kulu ja milliseid seadusi on vaja järgida.

Merereostuse likvideerimise suuremad kogemused on vee reostuse likvideerimine pinnakihilt, aga palju väiksemad vee alt, seega on vaja häid asjatundjaid, kes oskaksid antud seisukorda hinnata ja järeldusi teha. Aja jooksul on omandatud häid kogemusi ja leitud sobivaid meetodeid, mida on võimalik rakendada vraki ohutuks muutmiseks enne selle veest välja tõmbamist.

Üldine tegevusplaan on järgmine: 1) esialgne mobilisatsioon (asjatundjate kogunemine vraki ümber), 2) vraki hindamine/lekke ennetamine, 3) eemaldamise mobilisatsioon, 4) õli eemaldamine, 5) vraki stabiliseerimine, 6) vraki kõrvaldamine ja demobiliseerimine.

Kõiki nimetatud etappe mõjutavad teatud tegurid. Mobilisatsiooni vahemaa loob olukorra, kus võib vaja minna suurt ja keerukat varustust, mis omakorda nõuab palju raha ja aega (Michel et al. 2005: 22). Tavalise varustuse hulka kuuluvad olenevalt olukorrast pumbad, voolikud, puurimise ja lõikamise seadmed, generaatorid, kompressorid, hüdraulika, kaablid, sukeldumisvarustus, saastetõrjeseaded, sõukruvid. Raskevarustus aga sisaldab veokeid, abilaevu, ootelaevu (standby vessels), majutusüksuseid, rasked tõstemehhanisme, raskeveo helikoptereid, kaugjuhitavaid sõidukeid ja palju muud (Lloyds 2013: 15).

Vraki eemaldamisel on vaja arvestada ka selle asukoha tingimustega – sügavus, kaitstud ja kaitsmata alad, mere ja tormi mõju selles kohas, vee temperatuur, bioloogiline aktiivsus ja vee keemia. Sügav vesi võib juba vraki langemisel vee sügavustesse põhjustada suure kiirusega maandumisel purustusi. Madalas vees on probleemid teistsugused, näiteks avatus lainetele. Lainetus mõjutab isegi 35-75 m sügavusel olevad vrakke, kulutades terast ja eemaldades laevavarve, mis lähevad ringlusesse, laevakere aukudest pääseb välja ka õli.

Merehoovused, tõus/mõõn ja ilmastikuolud mõjutavad tugevasti ujuvplatvormide tegevust, sest keerukate ilmastikuolude vältimiseks on vaja teha suuri planeerimistöid ja tõsta varustuskindlust.

Vee temperatuur ja õli viskoossus mõjutab õli eemaldamiseks vajalike töövahendite valikut ja aega. Oluline roll on õlil endal, sest selle viskoossus määrab ammutamise keerukuse. Kergemad õlid voolavad kergemini ja neid on lihtsam pumbata, aga nad võivad vrakist ka kiiremini läbi ventilatsioonivõrkade või mõrade välja pääseda. Kõige rohkem kahjustavad keskkonda paksemad ja raskemad õlid, aga nad püsivad jälle külma vee puhul hästi põhjas. Hoolimata sellest, et raske õli püsib pikemat aega paigal, tekib ajapikku ikkagi laialivalgumise oht. (Michel et al. 2005: 23)

Ühe vraki väljavõtmine võib maksta 1-100 miljonit USD (Landquist 2016: 2). Maksumus sõltub paljudest asjaoludest: kaugus, ilmastikuolud, õli kogus vrakis jne (tabel 1). Ainuüksi 6000 tonni õli pumpamine laevast Mississinewa maksis 4 miljonit dollarit, kuigi ligipääs laevavrakile oli lihtne. 350 tonni pumpamine laeva Jacob Luckenback'i vrakist maksis 20 miljonit dollarit, sest ilmastikuolud olid muutlikud ja õli oli mitmesse kohta voolanud (Michel et al. 2005: 28).

Tabel 1. Õli eemaldamise keskmine maksumus vrakist, vastavalt selle keerukusele. (Michel et al. 2005: 28)

Suhteline keerukus	Mõjutegurid kuludele	Maksumuse vahemik (miljonit USA dollarid)
Lihtne	Madal sügavus (<20 m)	<1-3
	Madala viskoossusega õli	
	Kaitse all olev vesi	
	Kohalik mobilisatsioon	
	Keskmine sügavus (20-50m)	2-5
Keskmine	Keskmise viskoossusega õli	
	Ilma ja mere piirangud	
	Piirkondlik mobilisatsioon	
	Sügav vesi (50-250 m)	5-20+
	Suure viskoossusega õli	
Keeruline	Halb vraki seis	
	Avatud vesi	
	Ilma piirangud	
	Pikk mobilisatsioon	
	Väga sügav (> 250 m)	20-100+
Väga keerukas	Suure viskoossusega õli	
	Halb vraki seis	
	Avatud vesi	
	Ilma piirangud	
	Pikk mobilisatsioon	

Kui vrakkide eemaldamisega ei kaasneks suurt kulu, siis saaks merekeskkonna paremaks ja ohutumaks muuta. Paraku on vrakkide eemaldamine väga pikk ja kallis protsess, mis nõuab kõrgtasemelist tehnikat. Suurel määral sõltub vraki pinnale toomine ka selle seisukorrast ja vee sügavusest. Vraki eemaldamise protsessi teevad keerulisemaks merel sageli muutuv ilmastik.

6. SEADUSANDLUS

UNESCO veealuse kultuuripärandi konventsioon sätestab, et vrakki käsitletakse ajaloolise väärtusena, kui see on olnud veepõhjas vähemalt 100 aastat. Kaitse tähendab seda, et vrakki on keelatud ilma loata eemaldada, välja kaevata, katta või mingilgi määral kahjustada.

Rootsi seaduste kohaselt on kaubalaevad ja reisilaevad oma olemuselt erinevad, kuna reisilaevade uppumisel võib olla palju ohvreid ning selle tõttu kutsutakse seda matmispaigaks (burial-place) ning hauarahu häirimine on kuritegevus. 1994. aastal Läänemeres uppunud laeva Estonia juurde sukeldumine on keelatud, kui ei ole tegemist laeva kaitsmisega või vrakist eralduvate ainete leviku tõkestamisega vette. Eelnevalt peab olema saadud luba kas Rootsi, Soome või Eesti asutustest. (Kepperlus 2010: 12).

On teada, et I Maailmasõja (MS) järgsed Tsaari-Venemaa vrakid kuuluvad Eestile. Tartu rahulepingu artikkel XI ütleb järgmist: „*Venemaa ütleb enese lahti nii liikuva kui liikumata üleriikliku Vene Kroonu varanduse temale üleandmisest või selle väärtuse tasumisest, milles see varandus ka ei seisaks, siia hulka arvatud sõjalised ja teised ehitused, kindlustused, sadamad, iga liiki laevad, ühes arvatud ka sõjalaevad, laevakoormad jne., niisama ka igasugustest Vene Kroonu õigustest temale mitte kuuluva eraisikute liikuva ja liikumata varanduse peale, niipalju kui kõik need ülesloetud varandused on Eesti territooriumil, käesolevas lepingus määratavates piirides, või Eesti territooriumile külgnEVates vetes, või olid seal Saksa okupatsiooni ajaks, s. o. kahekümneneljandaks veebruariks ükstuhat üheksasada kaheksateist, samuti õigustest laevade peale, ühes arvatud sõjalaevad, mis tulid sinna Saksa okupatsiooni ajal või, lõpuks, on kinni võetud järgnevas Eesti ja Venemaa vahelises sõjas Eesti sõjajõudude või teiste poolt, ning on üle antud Eestile. Kõik ülesloetud varandused tunnistatakse Eesti ainuomanduseks, vabaks igasugustest kohustustest, arvates viieteistkümnendast novembrist ükstuhat üheksasada seitseteist, või kui Venemaa nad on hiljemini omandanud, siis nende omandamise ajast.*“ (Tartu Rahuleping 1920)

Palju küsimusi on tekitanud, kes vastutavad II MS laevavrakkide eest. Kas need kuuluvad lipuriigile või hoopis rannikuriigi vastutusse? Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni Mereõiguse Konventsioonis (UNCLOS), rahvusvahelises päästekonventsioonides ja merereostuse alastel konventsioonides on sätestatud kindlad õigused lipuriigi ja

rannikuäärsete riikide laevadele. Õigused sõltuvad sellest merenduspiirkonnast, kus laev asub. (Monfils et al. 2006: 784)

Teise maailmasõja ajal olid kõik sõjalaevad ja enamus kaubalaevu riigi kontrolli all ja juhtimisel sõltumata vara omandist. Sõjalaevade ja kaubalaevade suveräänsus resideerus valitsuses, mis oli laeva kontrolli all oma uppumise ajal. Laeva suveräänsed puutumatused põhimõtet laiendati ka varale või sisule, kaasa arvatud artefaktid, rahalised vahendid, inimeste jäägid, lasti ja laevade pardal asuvad saasteained, nt laevadel olevad kemikaalid, laskemoona, määrdeained ja kütteõli. (Sharma ja Sanghi 2013: 475)

2015. aastal jõustus Nairobi rahvusvaheline laevavrakkide eemaldamise konventsioon (*Nairobi International Convention on the Removal of Wrecks, 2007*), mille eesmärgiks on anda õiguslikud alused riikidele nende laevavrakkide eemaldamiseks, mis võivad kujutada ohtu kas inimestele, merehüvedele või meres olevale omandile ning merekeskkonnale. Laevavrakkide eemaldamise kulu peab katma laevaomanik. Rannikuriigil on õigus laevaomanikult kohustusliku kindlustuse arvelt summa sisse nõuda otse kindlustajalt. (Nairobi rahvusvaheline laevavrakkide eemaldamise konventsioon, 2007)

KMSK (Kaubandusliku meresõidu koodeks) § 117 ütleb, et Eestis on uppunud vara mitte likvideerimisel Veeteede Ametil (VTA) õigus rakendada asendustäitmist või sunniraha. (Kaubandusliku meresõidu koodeks)

Laevavrakkide eemaldamine ja nendega tegelemine on keerukas, sest erinevad seadused, rahvusvahelised lepped ja konventsioonid toovad omakorda vaidlusi juurde. Vrakide eemaldamist ei taha keegi oma vastutusele võtta, sest on võrdlemisi kallis ja sageli seotud muinsus – või kultuuriliste väärtustega.

KOKKUVÕTE

Laevavraki mõju sõltub vraki struktuurist – millest see on ehitatud ning mida vrakk sisaldab. Kõige ohutumad vrakid on pärit sajanditetagusest ajast, kui ei olnud veel võimalik kasutada ohtlike kemikaale laevakerede katmiseks ja ei veetud nii ohtliku lasti, kui praegu.

Ohtlike kemikaalide eraldumine vrakkidelt võib põhjustada ümbruskonnas elavate liikide isenditele mutatsioone, näiteks segasoolisuse kujunemist kaladel.

Vrakkide eemaldamine on väga kallis tegevus, mida tehakse ainult siis, kui seda on vaja keskkonnareostuse ohu vältimiseks. Hindamaks tulevast või juba tekkinud kahju, on vaja teha palju aeganõudvat uurimustööd ja kulutada palju raha. Suuremat osa vrakke ei ole vaja eemaldada, sest erilist keskkonnakahju ei ole või tekitab eemaldamine rohkem kahju, kui vraki loomulik lagunemine. Paraku on kahju tekitavate vrakkide hulk samuti piisavalt suur, nendest kõige suurema osa moodustavad sõjaaegsed vrakid, mis sisaldavad ohtlikest kemikaalidest koosnevat lasti ning mis on hakanud näitama lagunemismärke. Naftajääke ja sõjavarustust sisaldavate laevavrakkide eemaldamine on väga vajalik. Oluline on võimalikult kiiresti likvideerida vrakkide sees olevad ohtlikud komponendid ja vältida edaspidist hindamatut kahju.

Vrakid pakuvad uut keskkonda liikidele, kellel ei ole sellel territooriumil häid eluks vajalikke tingimusi. Mida keerulisema struktuuriga vrakk on, seda kompleksema ökosüsteemi see tekitab. Pehmetele setetele langenud vrakk võib pakkuda kodu paljudele võõrliikidele, kes omakorda võivad välja suretada kohalikud liigid, aga suurendada ka liigilist mitmekesisust. Vrakkide analoogia alusel on inimesed saanud idee teha tehisriffe, uputades ise keerukama struktuuriga ehitisi, et taastada hävinud korallide tõttu kaotatud liikide arvukust kui ka suurenda kaubanduslikult väärtusliku kala hulka.

Töö tulemusena võib järeldada, et kõik hüpoteesid leidsid osaliselt kinnitust. Nullhüpotees „laevavrakkidel ei ole erilist mõju veekeskkonnale“ kehtib pigem mitmeid sajandeid vanadele vrakkidele, mis pole olnud keemiliselt töödeldud ja on naturaalsest puidust. Nende eemaldamine tooks pigem rohkem kahju kui kasu. Hüpotees 1 „laevavrakid mõjutavad veekeskkonda“ kehtib sõjajärgsete laevade kohta, kus esineb määramatult palju kahjulikke kemikaale. Hüpotees 2 „laevavrakid on kasulikud, kuna suurendavad meredes bioloogilist

mitmekesisust“ on samuti kehtiv, sest liivasele põhjale langev mitte oluliselt kahjulik vrakk pakub kodu paljudele uutele liikidele.

KASUTATUD KIRJANDUS

- ***Aaron, J.R.** (1955). – *Wood*, lk 48-50, viidatud: Blanchette et al. 1990. Biodeterioration of archaeological wood. – *CAB Abstracts*. Nr 9, lk 153 vahendusel.
- Admiraala, W., Blanckb, H., Buckert-de Jonga, M., Guaschc, H., Ivorraac, N., Lehmann, V., Nyströmb, B.A.H., Paulissonb, M., Sabaterc, S.** (1999). Short-term toxicity of zinc to microbenthic algae and bacteria in a metal polluted stream. – *Water Research*. Vol. 33, No. 9, lk 1989-1996.
- Amara, I., Miled, W., Slama, R., Ladhari, N.** (2018). Antifouling processes and toxicity effects of antifouling paints on marine environment. – *Environmental Toxicology and Pharmacology*. Nr 57, lk 115-130.
- Annibali, A., Illuminati, S., Truzzi, C., Scarponi, G.** (2011). SWASV speciation of Cd, Pb and Cu for the determination of seawater contamination in the area of the Nicole shipwreck (Ancona coast, Central Adriatic Sea). – *Marine Pollution Bulletin*. Nr 62, lk 2813-2821.
- Appelqvist, C., Al-Hamdani, Z. K., Jonsson, P. R., Havenhand, J. N.** (2015). Climate Envelope Modeling and Dispersal Simulations Show Little Risk of Range Extension of the Shipworm, *Teredo navalis* (L.), in the Baltic Sea. – *PloS ONE*. Vol. 10, No. 3, lk 1-16.
- BBC.** (2004). Wrecked warship is a 'timebomb'. BBC News. [e-ajakiri] http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/kent/3578244.stm. (21.01.1018).
- Beldowski, J., Klusek, Z., Szubska, M., Turja, R., Bulczak, A.I., Rak, D., Brenner, M., Lang, T., Kotwicki, L., Grzelak, K., Jakacki, J., Fricke, N., Östin, A., Olsson, U., Fabisiak, J., Garnaga, G., Nyholm, J.R., Majewski, P., Broeg, K., Söderström, M., Vanninen, P., Popiel, S., Nawala, J., Lehtonen, K., Berglind, R., Schmidt, B.** (2016). Chemical Munition Search and Assessment-An evaluation of the dumped munition problem in the Baltic Sea. – *Deep-Sea Research II*. Nr. 128, lk 85-95.
- Björdal, C.** (2012). Evaluation of microbial degradation of shipwrecks in the Baltic Sea. – *International Biodeterioration & Biodegradation*. Nr 20, lk 126-140.
- Blanchette, R.A.** (1995). Biodeterioration of archaeological wood. – *CAB Abstracts*. Nr 9, lk 113-127.
- Blanchette, R.A., Nilsson, T., Daniel, G., Abad, A.** (1990). Biological Degradation of Wood. – *Advances in Chemistry*. Nr 225, lk 141-174.
- Blum, H. F.** (1922). On the effect of low salinity on *Teredo navalis*. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi. – *University of California Publication in ZOOLOGY*. Vol. 22, lk 1921-1923.

- Cariuo, E., Guivel, C., La, C., Lenta, L., Elliot, M.** (2017). Lead accumulation in oyster shells, a potential tool for environmental monitoring. – *Marine Pollution Bulletin*. Nr 125, lk 19-29.
- Carr, A.** (1987). Impact of nondegradable marine debris on the ecology and survival outlook of sea turtles. – *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 18, No. 6, lk 352–357.
- Cieszynska-Semenowicz, M., Rogowska, J., Ratajczyk, W., Ratajczyk, J., Wolska, L.** (2017). Toxicity studies of elemental sulfur in marine sediments. – *International Journal of Sediment Research*. Lk 1-7.
- Clark, S. & Edwards, A.J.** (1999). An evaluation of artificial reef structures as tools for marine habitat rehabilitation in the Maldives. – *Aquatic Conservation - Marine and Freshwater Ecosystems*. Nr. 9, lk 5-21.
- Connan, J., Nissenbaum, A.** (2002). Conifer tar on the keel and hull planking of the Ma'agan Mikhael Ship (Israel, 5th century BC): identification and comparison with natural products and artefacts employed in boat construction. – *Journal of Archaeological Science*. Nr. 30, 709–719.
- *Courtois, H.** (1963). *Holzforsch.* – *Holzverwert.* Nr. 15, lk 88-101, viidatud: Blanchette et al. 1990. Biodeterioration of archaeological wood. – *CAB Abstracts*. Nr 9, lk 154 vahendusel.
- EKI.** (2017). Eesti keele seletatav sõnavara. – *Vrakk*. (05.04.2018)
- Emelyanov, E., Kravtsov, V., Savin, Y., Paka, V., Khalikov, I.** (2010). Influence of chemical weapons and warfare agents on the metal contents in sediments in the Bornholm Basin, the Baltic Sea. – *BALTICA*. Vol. 23. No. 2, lk 77-90.
- Fors, Y. ja Sandström, M.** (2006). Sulfur and iron in shipwrecks cause conservation concerns. – *The Royal Society of Chemistry*. Nr. 35, lk 399–415.
- Fors, Y., Grudd, H., Rindby, A., Jalilehvand, F., Sandstro, M., Cato, I., Bornmalm, L.** (2014). Sulfur and iron accumulation in three marine-archaeological shipwrecks in the Baltic Sea: The Ghost, the Crown and the Sword. – *Scientific reports*. Nr 4, lk 4222.
- Fors, Y., Jalilehvand, F., Risberg, E., Björdal, C., Philips, E., Sandström, M.** (2012). Sulfur and iron analyses of marine archaeological wood in shipwrecks from the Baltic Sea and Scandinavian waters. – *Journal of Archaeological Science*. Nr. 39, lk 2521-2532.
- Giorgi, R., Chelazzi, D., Baglioni, P.** (2006). Conservation of acid waterlogged shipwrecks: nanotechnologies for de-acidification. – *Applied Physics*. Nr 83, lk 567-571.
- Guardiola, F. A., Cuesta, A., Meseguer, J., Esteban, M. A.** (2012). Risks of Using Antifouling Biocides in Aquaculture. – *International Journal of Molecular Sciences*. Nr 13, 1541-1560.
- Guidetti, P., Modena, M., Mesa, G., Vacchi, M.** (2000). Stratification of Macrobenthos in the
- Hall, S. J., Robertson, M. R., Basford, D. & Heaney, S. D.** (1993). The possible effect of fishing disturbance in the northern North Sea: an analysis of spatial patterns in community structure around a wreck. – *Netherlands Journal of Sea Research*. Nr 31, lk 201-208.

- Hedman, J.E., Rüdél, H.; Gercken, J., Bergek, S., Strand, J., Quack, M., Appelberg, M., Förlin, L., Tuvikene, A., Bignert, A.** (2011). Eelpout (*Zoarces viviparus*) in marine environmental monitoring. – *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 62, No. 10, lk 2015–2029.
- Hughes, G.C.** (1975). Studies of fungi in oceans and estuaries since 1961. I. Lignicolous, caulicolous and foliicolous species. – *Oceanography and Marine Biology*. Nr. 13, lk 69-180.
- Höfle, G.M., Brettar, I.** (1995). Taxonomic diversity and metabolic activity of microbial communities in the water column of the central Baltic sea. – *Limnology and Oceanography*. Nr. 40, lk 868-874.
- Ivanov, Y.U.** (2010). The oil spill from a shipwreck in Kerch Strait: radar monitoring and numerical modelling. – *International Journal of Remote Sensing*. Nr. 31, lk 17-18.
- Kaubandusliku meresõidu koodeks. (vastu võetud 09.12.1991, viimati jõustunud 01.03.1992). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/KMSK> (20.05.2018).
- Kelly, L., Barott, K., Dinsdale, E., Friedlander, A., Nosrat, B., Obura, D., Sala, E., Sandin, S., Smith, J., Vermeij, M., Williams, G., Willner, D., Rohwer, F.** (2012). Black reefs: iron-induced phase shifts on coral reefs. – *The ISME Journal*. Nr. 6, lk 638-649.
- Kepplerus, Katarina.** 2010. The Importance of Solving Legal Problems Regarding Wrecks - Risk Posed by Dangerous Wrecks in Swedesh Waters. Magistritöö. University of Lund. Faculty of Law. Lund. 63 lk.
- Kerckhof, Francis & Degraer, Steven & Norro, Alain & Rumes, Bob.** (2011). Offshore intertidal hard substrata: a new habitat promoting non-indigenous species in the Southern North Sea: an exploratory study, lk 27-37.
- *Kirk, T.K.** (1971). Effects of microorganisms on lignin. – *Annu. Rev. Phytopathology*. Nr. 9, lk 185-210, viidatud: Blanchette et al. 1990. Biodeterioration of archaeological wood. – *CAB Abstracts*. Nr. 9, lk 153 vahendusel.
- Kohlmeyer, J.** (1969). Deterioration of wood by marine fungi in the deep sea. – *American Society for Testing and Materials (Special technical publication)*. Nr. 445, lk 20-30.
- Konstantinou, I.K. ja Albanis, T.A.** (2003). Worldwide occurrence and effects of antifouling paint booster biocides in the aquatic environment. – *Environment International*. Nr. 30, lk 235-248.
- Kretschmar, E.I., Gelbrich, J., Militz, H., Lamersdorf, N.** (2008). Studying bacterial wood decay under low oxygen conditions - results of microcosm experiments. – *International Biodeterioration and Biodegradation*. Nr. 61, lk 69-84.
- Kuklińska, K., Wolska, M.C.L., Namieśnik, J.** (2013). Analytical and bioanalytical problems associated with the toxicity of elemental sulfur in the environment. – *Trends in Analytical Chemistry*. Nr. 48, lk 14-21.
- Lagerström, M., Lindgren, J. F., Holmqvist, A., Dahlström, M., Ytreberg, E.** (2018). In situ release rates of Cu and Zn from commercial antifouling paints at different salinities. – *Marine Pollution Bulletin*. Nr. 127, lk 289-296.

- Landquist, Hanna.** 2016. Environmental risk assessment of shipwrecks – Model development and application. Doktoritöö. Chalmers University of Technology. The Department of Shipping and Marine Technology. Gothenburg. 59 lk.
- Lemiere, S., Cossu-Leguille, C., Bispo, A., Jourdain, M., Langers, M., Burnel, D., Vasseur, P.** (2005). DNA damage measured by the single-cell gel electrophoresis (Comet) assay in mammals fed with mussels contaminated by the 'Erika' oil-spill. – *Mutation Research*. Nr. 581, lk 11-21.
- Li, L., Pohl, C., Ren, J-L., Schulz-Bull, D., Cao, X-H., Nausch, G., Zhang, J.** (2018). Revisiting the biogeochemistry of arsenic in the Baltic Sea: Impact of anthropogenic activity. – *Science of The Total Environment*. Nr. 613-614, lk 557-568.
- Lloyds.** 2013. Wreck removal considerations. – *The challenges and implications of removing shipwrecks in the 21st century*. lk 1-45.
- Marine Area Impacted by Tar Aggregates Derived from the Haven Oil Spill (Ligurian Sea, Italy). – *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 40, No. 12, 1161-1166.
- Martin JH, Coale KH, Johnson KS, Fitzwater SE, Gordon RM, Tanner SJ et al.** (1994). Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific-Ocean. – *Nature*. Nr 371, lk 123–129.
- Matchallat, J.** (2000). Arsenic in the geosphere – a review. – *Science of The Total Environment*. Vol. 249. No. 1-3, lk 297-312.
- Michel, J., Etkin, D. S., Urban, R., Gilbert, T., Waldron, J., Blocksidge, C.** (2005). Potentially polluting wrecks in marine waters. – An Issue paper Prepared for the 2005 International Oil Spill Conference. Vol. 2005. No. 1, lk 1-40.
- Michel, J., Etkin, D.S., Gilbert, T., Urban, R., Waldron, J., Blocksidge, C.T.** (2005). An issue paper prepared for the 2005 international oil spill conference. – *Potentially polluting wrecks in marine waters*. Lk 1-38.
- Miller, M.W.** (2002). Using ecological processes to advance artificial reef goals. – *ICES Journal of Marine Science*. Nr 59, 27-31.
- Monfils, R., Gilbert, T., Nawadra, S.** (2006). Sunken WWII shipwrecks of the Pacific and East Asia: The need for regional collaboration to address the potential marine pollution threat. – *Ocean & Coastal Management*. Nr. 49, lk 779–788.
- Nagelkerken, I. A., & Debrot, A. O.** (1995). Mollusk communities of tropical rubble shores of Curacao—long-term (7+ years) impacts of oil pollution. – *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 30. No. 9, lk 592–598.
- Nairobi rahvusvaheline laevavrakkide eemaldamise konventsioon, 2007. (Vastu võetud 18.05.2007, viimati jõustunud 14.04.2015)– Keskkonnaministeerium. <http://www.envir.ee/et/nairobi-rahvusvaheline-laevavrakkide-eemaldamise-konventsioon-2007/> (25.04.2018).

- Palacios, C., Zbinden, M., Baco, A.R., Treude, T., Smith, C.R., Gaill, F., Lebaron, P., Boetius, A.** (2006). Microbial ecology of deep-sea sunken wood: quantitative measurements of bacterial biomass and cellulolytic activities. – *Cahiers de Biologie Marine*. Nr. 47, lk 19-22.
- Pequegnat, W.E., Jeffrey, L.M.** (1979). Petroleum in deep benthic ecosystems of the gulf of mexico and Caribbean sea. – *Contribution in marine science*. Nr. 22, lk 1-214.
- Prego, R., ja Cobelo-Garcia, A.** (2004). Cadmium, copper and lead contamination of the seawater column on the Prestige shipwreck (NE Atlantic Ocean). – *Analytica Chimica Acta*. Nr. 524, lk 23–26.
- Renzi, M., Romeo, T., Guerranti, C., Perra, G., Canese, S., Consoli, P., Focardi, S. E., Berti, C., Sprovieri, M., Gherardi, S., Salvagio, D., Giaramita, L., Esposito, V., Battaglia, P., Giacobbe S., Andaloro, F.** (2017). Are shipwrecks a real hazard for the ecosystem in the Mediterranean Sea? – *Marine Pollution Bulletin*. Nr. 124, lk 21-32.
- Riigi teataja. (s.a). Laeva õigusseadus. [veebileht] [https://www.riigiteataja.ee/akt/74946/\(04.01.2018\)](https://www.riigiteataja.ee/akt/74946/(04.01.2018)).
- Rogowska, J., Namieśnik, J.** (2013). Environmental Risk Assessment of WWII Shipwreck Pollution. – *Wastewater Reuse and Management*. Nr 16, lk 461-478.
- Sanders, H., Grassle, J., Hampson, G., Morse, L., Garner-Price, S., Jones, C.** (1980). Anatomy of an oil spill: long-term effects from the grounding of the barge Florida off West Falmouth, Massachusetts. – *Journal of Marine Research*. Nr. 38. lk 2.
- Savory, J.G.** (1954). Breakdown of timber by ascomycetes and fungi imperfecti. – *Annals of Applied Biology*. Nr. 41, lk 336-347.
- Schaber, M., Hinrichsen, H.-H., Gröger, J.P.** (2012). Seasonal changes in vertical distribution patterns of cod (*Gadus morhua*) in the Bornholm Basin, central Baltic Sea. – *Fish Oceanography*. Nr. 21, lk 33-43.
- Schaumann, K.** (1974). Experimentelle untersuchungen zum einfluss des salzgehaltes und der temperatur auf das mycelwachstum höherer pilze aus dem meer – und brackwasser. – *Marine Biology*. Vol. 28. No. 3, lk 221-235.
- Seaman, W., Sprague, L.M.** (1991). Artificial habitat practices in aquatic systems. – *Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries*. Lk 1-29.
- Sharma, S.K., Sanghi, R.** (2013). Wastewater Reuse and Management. Springer. 500 lk.
- Solovyov, D.** (2007). Russian oil tanker breaks up off Crimea. Reuters. – *Environment*. <https://www.reuters.com/article/us-russia-tanker/russian-oil-tanker-breaks-up-off-crimea-idUSL1121687120071111/> (26.01.2018).
- SS Richard Montgomery Survey and Hull Thickness Report 2013. (2015). – *Maritime and Coastguard Agency*. Lk 1-39.
- Steimle, F. W., Shaheen, A.** (1999). Tautog (*Tautoga onitis*) Life History and Habitat Requirements. – *NOAA Technical Memorandum*. Nr. 118, lk 1-18.

- Stone, R. B., McGurrin, J. M., Sprague, L. M. & Seaman, W.** (1991). Artificial habitats of the world: synopsis and major trends. – *Artificial habitats for marine and freshwater fisheries*. Lk 31-60.
- Submerged. (s.a). The Richard Montgomery. [veebileht]
<https://www.submerged.co.uk/montgomery.php/> (21.01.2018)
- Suzuki, T., Yamamoto, I., Yamada, H., Kaniwa, N., Konda, K., Murayama, M.** (1998). Accumulation, Metabolism, and Depuration of Organotin Compounds in the Marine Mussels *Mytilus graynus* and *Mytilus edulis* under Natural Conditions. – *J. Agric. Food Chem.* Nr. 46, lk 304-313.
- Zhou, Y., Wei, F., Zhang, W., Guo, Z., Zhang, L.** (2018). Copper bioaccumulation and biokinetic modeling in marine herbivorous fish *Siganus oramind*. – *Aquatic Toxicology*. Nr. 196, lk 61-69.
- Zintzen, V., Norro, A., Massin, C., Mallefet, J.** (2008). Temporal variation of Tubularia indivisa (Cnidaria, Tubulariidae) and associated epizoites on artificial habitat communities in the North Sea. – *Marine Biology*. Nr. 153, lk 405-420.
- Zintzen, Vincent.** 2007. Biodiversity of shipwrecks from the Southern Bight of the North Sea. Dissertatsioon. University of Louvan. Royal Belgian Institute of Natural Sciences. Bruxelles. 343 lk.
- Tiberg, H.** (2004) Wrecks and Wreckage in Swedish Waters. – *Scandinavian Studies in Law*. Lk 1-18.
- Warnock, A., Hagen, S., Passeri, D.** (2015). Marine Tar Residues: a Review. – *Water Air Soil Pollut.* Vol. 226. No. 68, lk 1-24.
- Water quality criteria for european freshwater fish. (1977). – *Report on cadmium and freshwater fish*. EIFAC Technical Paper. Nr. 30, lk 1-22.
- Watermann, B.T., Daehne, B., Sievers, S., Dannenberg, R., Overbeke, J.C., Klijnstra, J.W. Heemken, O.** (2005). Bioassays and selected chemical analysis of biocide-free antifouling coatings. – *Chemosphere*. Nr. 6, lk 1530-1541.
- Whitfield, P.E. Muñoz, R.C. Buckel, C.A., Heesemann, L.M.** (2011). Fish Community and Habitat Assessments on North Carolina Shipwrecks: Monitor National Marine Sanctuary, Battle of the Atlantic. June 2010 Marine Sanctuaries Conservation Series ONMS-11-03. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of National Marine Sanctuaries, Silver Spring, MD. Lk 39.
- Ytreberg, E., Bighiu, M. A., Lundgren, L., Eklund, B.** (2016). XRF measurements of tin, copper and zinc in antifouling paints coated on leisure boats. – *Environmental Pollution*. Nr. 213, lk 594-599.

LISAD

Lisa 1. Peamised pealiskasvu vältivate ainete biotsiidid (Guardiola, 2012)

Int. J. Mol. Sci. **2012**, *13*

1544

Table 1. The main antifouling biocides used in aquaculture and their effect on aquatic organisms.

Common Names ^a	Application ^a	Mode of Action ^a	Species	Effects
Chlorothalonil	Fungicide	Inhibition of mitochondrial electron transport	Crustaceans	Behaviour
			<i>Cancer magister</i>	Larval mortality [43]
			<i>Penaeus duorarum</i>	Mortality [44]
			Molluscs	
			<i>Crassostrea virginica</i>	Growth [45]
				Embryotoxicity [46]
			<i>Mytilus edulis</i>	Embryotoxicity [47]
				Mortality [48]
			Tunicates	
				Embryotoxicity
			<i>Ciona intestinalis</i>	Inhibition of larval settlement [47]
			Teleosts	
			<i>Anguilla japonica</i>	Mortality [49]
			<i>Cyprinodon variegatus</i>	Mortality [45]
			<i>Galaxias auratus</i>	Mortality [50]
Copper pyrrithione (CuPT)	Microbicide	Multi-site inhibitor (metabolic processes)	<i>Galaxias maculatus</i>	Mortality [50]
			<i>Galaxias truttaceus</i>	Mortality [50]
			<i>Leiostomus xanthurus</i>	Mortality [44]
			<i>Pseudaphritis urvillii</i>	Juvenile mortality [51]
			Crustaceans	
			<i>Artemia salina</i>	Inhibition of Na/K ATPase and Mg ²⁺ ATPase enzyme activities [52]
			Molluscs	
			<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Alterations in Na/K ATPase and Ca ²⁺ ATPase activities [53]
			Teleosts	
			<i>Fundulus heteroclitus</i>	Alterations in gill osmoregulation [54]
Dichlofuanid	Fungicide	Inhibitor of PS II electron transport	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	Alterations in gill osmoregulation [55]
			Echinoderms	
			<i>Glyptocidaris crenularis</i>	Embryotoxicity [56]

Table 1. Cont.

Common Names *	Application *	Mode of Action *	Specie	Effects
DCOIT (Sea-Nine 211®)	Herbicide	Inhibitor of PS II electron transport	Crustaceans	
			<i>Balanus amphitrite</i>	Larva mortality [57,58]
			Molluscs	
			<i>Crassostrea virginica</i>	Embryo-larva immobility [46]
			<i>Mytilus edulis</i>	Embryo-larva immobility and embryotoxicity [46,47]
			Echinoderms	
			<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	Embryotoxicity [59]
			<i>Anthocidaris crassispina</i>	Embryotoxicity [59]
			Tunicates	
			<i>Ciona intestinalis</i>	Embryotoxicity and inhibition of larval settlement [47]
Diuron	Herbicide	Inhibitor of PS II electron transport	Teleosts	
			<i>Cyprinodon variegatus</i>	Mortality [46]
			Algae	
			<i>Scenedesmus vacuolatus</i>	Toxic for the reproduction [60]
			Microalgae	
			planktonic periphytic	Reduction of chlorophyll <i>a</i> levels [61–63]
Irgarol-1051	Herbicide	Inhibitor of PS II electron transport	Teleosts	
			<i>Carassius auratus</i>	Acetylcholinesterase inhibition [64]
			Algae	
			<i>Dunaliella tertiolecta</i>	
			<i>Synechococcus sp</i>	
			<i>Emiliania huxleyi</i>	Decreasing in growth, inhibition of cell number and decrease in the photosynthetic activity [38,65–70]
			<i>Zostera marina</i>	
			<i>Fucus vesiculosus</i>	
TCMS pyridine (2,3,3,6-tetrachloro-4-methylsulfonylpyridine)	Fungicide	Inhibitor of mitochondrial electron transport	<i>Enteromorpha intestinalis</i>	
			<i>Ulva intestinalis</i>	
			Tunicates	
Zinc pyrithione (ZnPT)	Microbicide	Multi-site inhibitor (metabolic processes)	<i>Botryllus schlosseri</i>	Immunotoxic [71,72]
			Teleosts	
			<i>Oryzias latipes</i>	Embryotoxicity [73]
			<i>Danio rerio</i>	Embryo-larva [74]

LIHTLITSENTS

Mina, _____,
(*autori nimi*)
sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

_____,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____,
(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)

(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)
